This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

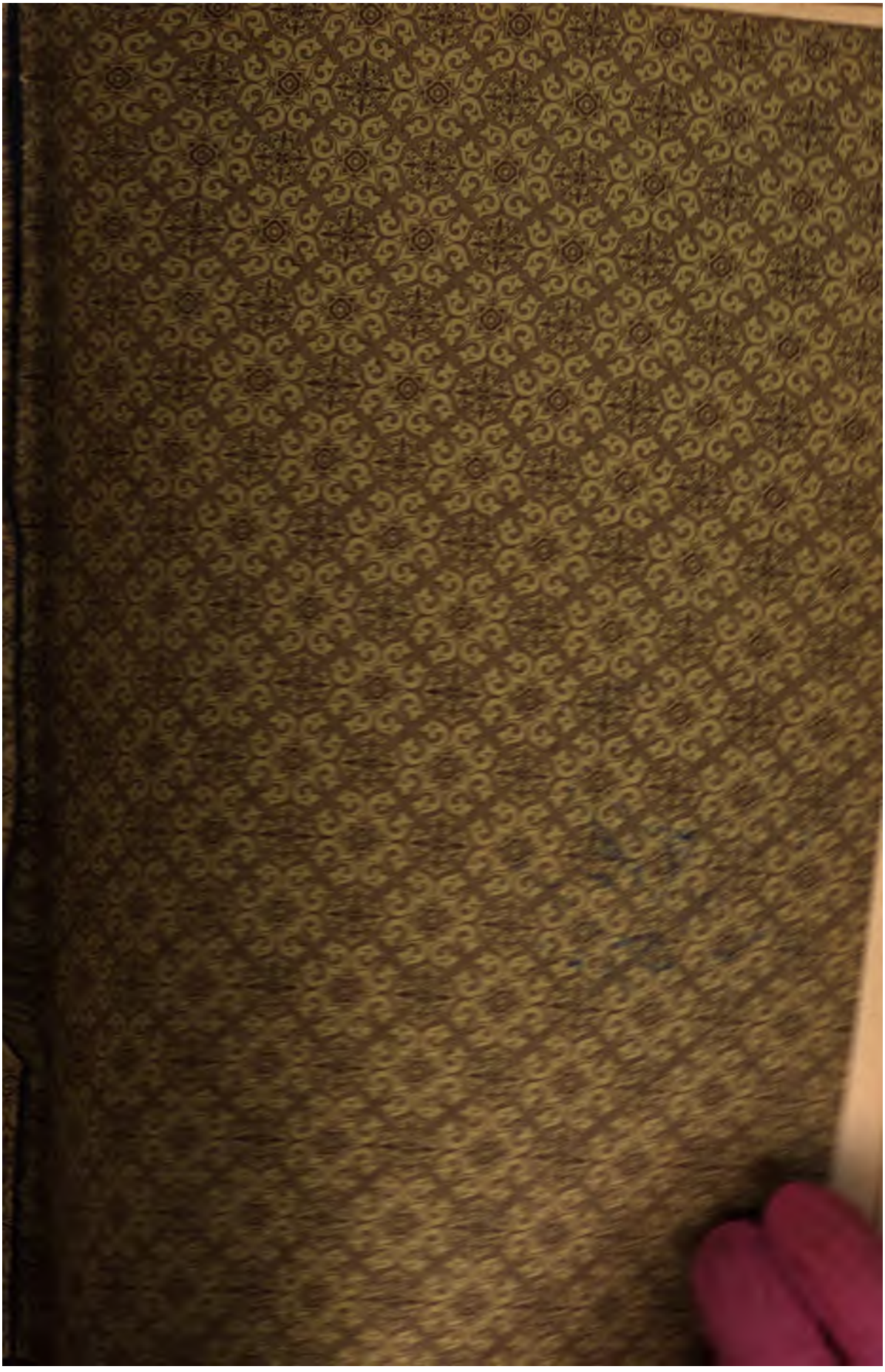
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06911500 8

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTOR LENOX & TILDEN
FOUNDATIONS



Das

Buch der Erfindungen

Gewerbe und Induſtrien

VII

Neunte, durchaus neugeſtaltete Auflage

Das Buch der Erfindungen

Gewerbe und Industrien

Gesamtdarstellung

aller Gebiete der gewerblichen und industriellen Arbeit

sowie von Weltverkehr und Weltwirtschaft

Neunte, durchaus neugestaltete Auflage

bearbeitet von

Dr. **F. Ahrens**, Prof. für landwirtschaftliche Technologie in Breslau — Prof. Dr. **W. Borchers** in Aachen — Dir. **H. Brüggemann** in Mülhausen i. E. — Ingenieur **E. Cramer** in Berlin — **F. W. Dahlen**, Generalsekretär des deutschen Weinbauvereins in Wiesbaden — **G. Ebe**, Architekt in Berlin — Architekt **J. Faulwasser** in Hamburg — Ingenieur **Max Gary** in Berlin. — Dr. **L. Grunmach**, Prof. a. d. techn. Hochschule in Berlin — **M. Gürtler**, Direktor der höh. Webeschule in Berlin — Direktor **Hermann Hardicke** in Remscheid — Regierungsrat Dr. **H. Hecht** in Berlin — **Max Kraft**, Prof. an der techn. Hochschule in Graz — Prof. Dr. **Lassar-Cohn** in München — Dr. **Richard Lorenthal**, Lehrer a. d. höh. Webeschule in Kottbus — Dr. **R. Mierke** in Braunschweig — Dr. **Joh. Müller**, Vorstand der deutschen Versuchsanstalt für Lederindustrie in Freiberg i. S. — **Ernst Plinz**, Direktor der k. k. Fachschule für Holzindustrie in Villach — Geheimrat Prof. **F. Reuleaux** in Berlin — **Franz Rey**, Prof. a. d. techn. Hochschule in Wien — Ingenieur **E. Rosenboom** in Kiel — **H. Rowald**, Stadtbauinspektor in Hannover — **C. Schreiber** in Bockenheim — Prof. Dr. **H. Settegast**, Direktor des landwirtschaftlichen Instituts in Jena — **E. Treptow**, Prof. a. d. Bergakademie in Freiberg — **R. Wilke**, Ingenieur für Elektrotechnik in Berlin — Dr. **F. Wüst**, Lehrer a. d. Hüttenschule in Duisburg — und vielen andern Fachmännern ersten Ranges.

Siebenter Band

Die Industrien der Steine und Erden
Chemische Industrie

Mit 601 Textabbildungen, sowie 3 Beilagen

Leipzig
Verlag und Druck von Otto Spamer
1899

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

zum

Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien.

Neunte Auflage.

Siebenter Band.

Die Industrien der Steine und Erden.

Die Bearbeitung der Bausteine.

Von Ingenieur M. Gary.

Seite

Geschichtliches (3). — Arten und Prüfung der Gesteine (4).

Die Verarbeitung der Felsarten 9

Chausseebaumaterial (9). — Pflastersteine (12). — Rauhsteine (14). — Hausteine (15). — Dachschiefer (27).

Transportvorrichtungen 28

Kalk, Zement und Gips.

Von Ingenieur M. Gary.

Kalk 31

Entstehung und Vorkommen in der Natur (31). — Kohlensaurer Kalk und seine Verwendung (34). — Die Marmorbrüche von Carrara (34). — Die Kalksteinbrüche von Rüdersdorf (35). — Die Kreidegruben von Lägerdorf und auf Rügen (36). — Ätzkalk (38). — Verwendbarkeit der Kalkarten zur Mörtelbereitung (38). — Das Brennen in Kalköfen (39). — Öfen mit periodischem Betriebe (40). — Öfen für ununterbrochenen Betrieb (42). — Das Löschen des Kalkes (44). — Mörtelbereitung (44). — Hydraulische Mörtel (Wassermörtel) und natürliche Zemente (47). — Hydraulische Kalke (47).

Zement 48

Natürliche Zemente (48). — Roman-Zement (48). — Puzzolane (48). — Traß (48). — Santorinerde (49). — Portland-Zement (49). — Geschichtliches (49). — Fabrikation von Portland-Zement (53). — Die Portland-Zementfabrik „Stern" (54). — Das Portland-Zementwerk Heidelberg (57). — Eigenschaften und chemische Zusammensetzung (58). — Verwendung (59).

Gips 61

Vorkommen und Zusammensetzung (61). — Verwendung (62). — Das Formen des Gipses (63). — Das Gießen des Gipses (64).

Kunststeine.

Von Ingenieur M. Gary.

Seite

Künstlicher Sandstein (67). — Künstlicher Granit (Terrazzo), Granito, Granitoid (73). — Nachahmungen natürlicher Steine für den inneren Ausbau (74). — Oberflächen-Härtungsmittel und Steinkitte (80). — Künstliche Pflastersteine (83).

Die Thonwarenindustrie.

Von Regierungsrat Dr. H. Hecht.

Geschichtliches 87

Die Rohmaterialien der Thonwarenindustrie 118

Die Herstellung der Thonwaren.

I. Poröse Thonwaren 122

1. Mauerziegel (122). — 2. Feuerfeste Steine und Fabrikate (132). — 3. Töpferwaren und Steingut (134).

a) Töpferwaren (Fayence und Majolika) (134). — b) Steingut (141).

II. Dichte Thonwaren 146

1. Steinzeug (147). — 2. Porzellan (149).

Glasindustrie.

Von Ingenieur E. Cramer.

Einleitung (169). — Bedeutung und Geschichte des Glases (169). — Wesen und Eigenschaften des Glases (184). — Chemische Zusammensetzung des Glases (188). — Einteilung der Gläser (190).

Rohmaterialien für die Glasfabrikation und ihre Zubereitung 191

Hauptbestandteile der Glasmasse (191). — Zuschläge zur Glasmasse (199). — Entfärbungsmittel (200). — Die gebräuchlichsten Färbemittel in der Glasfabrikation (201). — Die Bereitung des Glassatzes (202).

Die feuerfesten Glashäfen und Wannen der Glasindustrie 204

Wahl und Vorbereitung des Glashafenthones (205). — Der Bau der Häfen (208). — Das Formen der Häfen (211).

Glasschmelzöfen 216

Das Schmelzen (229).

Die Verarbeitung der Glasmasse 230

Das Blasen der Hohlgläser (230). — Preßglas (238). — Tafelglasfabrikation (241) — Spiegelglasfabrikation (244). — Farbige Gläser (248). — Fabrikation der Zier- und optischen Gläser (253). — Arbeiten vor der Glasbläserlampe (264). — Verzieren des Glases durch Schliff und Schnitt (264). — Das Bedrucken der Gläser (269). — Verzierung des Glases durch Ätzen (271). — Verzierungen durch den Sandstrahl (274). — Das Guillochieren der Gläser (277). — Glasmalerei (277).

Die chemische Industrie.

Von Prof. Dr. Lassar-Cohn.

Entwickelung der Chemie 294

Die Grundbegriffe der heutigen Chemie 312

Die wichtigsten Arbeitsmethoden des chemischen Arbeitens 319

Das Kalkbrennen 325

Mörtel und Zement 325

Alkalien und Säuren 327

Die Blutlaugensalzindustrie 332

Darstellung von Blutlaugensalz mit Hilfe des Stickstoffs der Luft (344). — Darstellung von Blutlaugensalz aus Gasanstaltsabfällen (345). — Das Berliner Blau (347). — Das Cyankalium (348). — Das rote Blutlaugensalz (352).

Seite

Der Alaun 352
Das chromsaure Kali (357).

Die Soda, das Kochsalz und die mit ihnen verbundenen Industrien 358

Das Kochsalz 359
Überführung des Kochsalzes in Soda (362).

Die Schwefel- und die Schwefelsäure-Industrie 362
Verbindungen des Schwefels (367). — Fabrikation der Schwefelsäure (370).

Fabrikation der Soda nach Leblanc 388
Chemische Vorgänge (392).

Die weiteren Nebenindustrien der Leblanc-Sodafabrikation 394
Die Salzsäure (394). — Das Chlor (399). — Der Chlorkalk (403). — Das chlorsaure Kali (404). — Die Regenerierung des Braunsteins (406). — Das doppeltkohlensaure Natron (408). — Das Ätznatron oder die kaustische Soda (409). — Die Wiedergewinnung des Schwefels (410).

Die Ammoniaksodafabrikation 415

Die elektrolytischen Methoden 423

Fluor. Brom 427
Bromkalium (431).

Das Jod 432

Der Salpeter und die Salpetersäure 436
Das Königswasser (446).

Das Schießpulver und die neueren Explosivstoffe 447
Die Schießbaumwolle (460). — Das Nitroglycerin (466). — Die Sprenggelatine (470). — Die rauchlosen Pulver (471). — Energie der neuen Explosivstoffe (475). — Die Kunstfeuerwerkerei (476). — Das Celluloid (477).

Die Erfindung der Feuerzeuge und der Phosphor 478
Die Flamme (479). — Die Feuerzeuge (480). — Stahl, Stein und Schwamm (481). — Das Döbereinersche Platinfeuerzeug (482). — Der Phosphor (483). — Die Knochen (486). — Fabrikation des Phosphors (486). — Roter und amorpher Phosphor (489). — Anwendung des Phosphors zu Feuerzeugen (490). — Streichhölzchen (490).

Die Verwertung des Holzes in der chemischen Industrie. 495
Die Holzkohle (496). — Darstellung der Essigsäure (499). — Der Holzgeist (504). — Der Holzteer (504). — Das Aceton (505). — Die Oxalsäure (506).

Die künstlichen Düngemittel 506

Darstellung der Kalisalze für Düngezwecke 509
Der Carnallit (509). — Die Phosphate als Düngemittel (514). — Das Aufschließen der Phosphate (515). — Die Superphosphate (520). — Das Doppelsuperphosphat (525). — Das Thomasphosphatmehl (526). — Der Guano (528). — Die Stickstoffdünger (529). — Die Ammoniaksalze (534).

Die Verwertung der Fette und Öle in der chemischen Industrie 538

Die Seifenfabrikation 539
Der Talg (539). — Das Olivenöl (541). — Das Leinöl (541). — Das Baumwollsamenöl (542). — Das Erdnußöl (542). — Das Palmöl (543). — Das Kokosnußöl (544). — Die Kakaobutter (544). — Die Harze (545). — Die Herstellung der Schmier- und harten Seifen (547).

Die Kerzenfabrikation 551
Das Stearin und Paraffin (553). — Das Erdwachs (554). — Das Carnaubawachs. — Das Gießen der Kerzen (556). — Das Glycerin (558).

Trocknende Öle und Firnisse 560

Die Margarine (Kunstbutter und künstliche Speisefette) 561

Die ätherischen Öle sowie ihre Verwendung in der Likörfabrikation und in der Parfümerie 570
Das Terpentinöl, das Harzöl (573). — Das Anisöl, das Kalmusöl, das Nelkenöl, das Kümmelöl, das Zimtöl, das Senföl, das Zitronenöl, das Orangenöl, das Pomeranzenöl, das Bergamottöl (575). — Das Bittermandelöl, das Irisöl (575). — Das Patchouliöl, das Rosenöl (576). — Das Ylang-Ylang-Öl (577).

Seite

Die Likörfabrikation 577

Die Parfümerie 577

Das Benzoëharz (577). — Der Storax, das Myrrhenharz, der Weihrauch, der Moschus, die Ambra (578).

Die Steinkohlen und ihre Verwendung in der chemischen Industrie 582

Darstellung des Leuchtgases aus Steinkohlen (582).

Die Teerdestillation 594

Die Dachpappenfabrikation 600

Die Farben und die Farbstoffe 601

Erd-, Metall- und Pflanzenfarben 601

Die Teerfarbstoffe 605

Das Anilin und die wichtigsten sonstigen Zwischenstufen der Teerfarbenfabrikation 608

Das Anilin (609). — Das Methyl- und Dimethylanilin (610). — Das Benzidin (613). — Die Entwickelung der Teerfarbenstoffindustrie (615).

Die künstlichen Heilmittel und die Desinfektionsmittel 619

Die Alkaloide (620). — Das Morphium, das Cocain (621). — Das Pyridin, das Chinin (623). — Künstliches Chinin, Anwendung des Morphiums (625). — Das Chloral, das Sulfonal, die Anwendung der Narkose (626). — Der Äther (627). — Das Chloroform (629). — Die Antiseptika, das Sublimat (630). — Die Karbolsäure, die Salicylsäure (631).

Das Petroleum 632

Petroleumgewinnung in den Vereinigten Staaten (633). — Die Bakuer Erdölindustrie (634).

Die Verflüssigung der Gase und der Luft 639

Die Verflüssigung der Kohlensäure, des Sauer- und Wasserstoffgases (640). — Die Verflüssigung der Luft (643).

Namen- und Sachregister 64

Beilagen.

Kunsterzeugnisse der Thonwarenindustrie aus älterer und neuerer Zeit 16

Glaskunsterzeugnisse aus älterer und neuerer Zeit 2

Flammbilder der wichtigsten Sprengstoffe, nach Augenblicksphotographien von Sierich 47

Die Industrien der Steine und Erden.

Die Bearbeitung der Bausteine.

Geschichtliches. Arten und Prüfung der Gesteine.

Die Gewinnung und Bearbeitung natürlicher Gesteine für bauliche und andere Zwecke ist uralt. Sie ist mit dem Fortschritt der Kultur Hand in Hand gegangen. Die Verbesserung des Werkzeuges, der Übergang von dem steinernen Werkzeug zur Bronze und von dieser zum Eisen und Stahl, hat die Möglichkeit sorgfältiger Bearbeitung der zum Bauen benutzten Felsen wesentlich erweitert. Schon die Überreste altägyptischer Bauwerke legen Zeugnis dafür ab, wie frühzeitig die Geschicklichkeit der Steinmetzen auf einer hohen Stufe stand. Staunend ersehen wir, daß die Mittel jenes durch seine riesigen Tempel, Obelisken, Pyramiden unvergeßlich gewordenen, vergangenen Kulturvolkes am Nil zur Bearbeitung der härtesten Gesteine wie Diorit, Basalt und Granit den unseren nur wenig nachstanden. Nur mit vollkommenem Werkzeug ist es möglich geworden, die gewaltigen rätselvollen Bauwerke auszuführen, deren hoch ragende Ruinen und tiefe Felshöhlen noch heute höchste Bewunderung erregen, und die wie durch das Wirken von Naturkräften hervorgerufen erscheinen. Es ist das Verdienst eines neueren Forschers, W. M. Flinders Petrie, durch sachverständige Prüfung einer Anzahl Proben halbfertiger, augenscheinlich von den altägyptischen Werkleuten verworfener Arbeitsstücke festgestellt zu haben, daß schon die Ägypter harte Gesteine mit geraden und kreisrunden Sägen, sowie mit einfachen und röhrenförmigen Bohrern bearbeiteten, deren Zahnspitzen oder Schneiden durch eingesetzte Edelsteine hergestellt waren. Durch die Betrachtung der tief eingearbeiteten, zusammenhängenden und gleichmäßigen Furchen auf den Arbeitsflächen solcher Probestücke muß man zu dem Schluß gelangen, daß die verwendeten Werkzeuge sehr kräftig geführt worden sind. Wenn auch die Art der verwendeten Edelsteine aus den aufgefundenen Überresten nicht bestimmt nachgewiesen werden konnte, beschränkt sich die Reihe der möglichen Materialien doch nur auf wenige Edelsteine, so daß man auf die Anwendung von Korund oder noch wahrscheinlicher von Diamant schließen muß.

Auch die alten Römer kannten bereits Maschinen zur Bearbeitung von Steinen. In den Schriften des römischen Dichters Magnus Ausonius, der im 4. Jahrhundert n. Chr. zu Burdigala (Bordeaux) lebte, findet sich ein Hinweis auf eine Wassermühle zum Schneiden von Steinblöcken, die an der Roer gelegen war, einem Nebenflüßchen der Maas, das auf der Hohen Fenn in Rheinpreußen entspringt und über Jülich nach Holland fließt. Aus anderen Nachrichten geht hervor, daß man damals und wohl auch später noch Steinsägen gebraucht haben soll, die aus einer Holzlatte bestanden, an deren Kante Feuersteinspitzen mittels eines Kittes befestigt waren. Nach Annahme des römischen Schriftstellers Plinius soll die Sägemühle zum Schneiden von Steinen in der altpersischen Landschaft Karien erfunden worden sein. Jener alte Autor scheint zu dieser Annahme dadurch gelangt zu sein, daß das berühmte Grabmal des Königs Mausolus in Halikarnaß, welches im Jahre 350 v. Chr. erbaut sein soll, mit scheinbar geschnittenen Marmorplatten belegt war und er kein älteres Bauwerk solcher Art kannte. Plinius

bemerkt dazu noch, daß jene alten Steinsägen eigentlich durch Schleifen mit Sand wirkten und demgemäß identisch mit den bis in die neueste Zeit benutzten sogenannten Schwertsägen waren.

Aus den einzelnen geschichtlichen Daten erhellt, daß die Bearbeitung der Gesteine frühzeitig zu hoher Vollkommenheit gelangte. Wir werden weiter unten sehen, daß wir heute noch im wesentlichen — soweit Steinbearbeitungsmaschinen in Frage kommen — auf demselben Standpunkte stehen, den schon die alten Ägypter einnahmen.

So groß, wie die Mannigfaltigkeit der steinernen Schätze, welche uns die Natur zum Bauen liefert, ist auch die Vielseitigkeit der Formengebung, welche die modernen Bearbeitungswerkzeuge zulassen. Nur in vereinzelten Fällen verwenden wir in unserer Zeit den gebrochenen Stein in dem Zustande, in welchem er beim Loslösen von der Felswand fällt. Eigentlich sind es nur geschichtete Gesteine, bei denen man im Großen auf eine feine Nacharbeitung verzichtet; die meisten massigen Gesteine müssen schon im Bruche möglichst in solchen Formen von der Felswand losgelöst werden, die bereits im Rohen der später beabsichtigten Gestalt entsprechen oder wenigstens das spätere Zerlegen erleichtern. Die Arten des Loslösens, des Spaltens, Behauens und Schleifens der natürlichen Bausteine sind außerordentlich mannigfaltige. Da sich diese Bearbeitungsarten im wesentlichen nach der Natur des zu bearbeitenden Gesteines richten, ist es nicht überflüssig, auf diejenigen Gesteingruppen mit einigen Worten einzugehen, die aus dem ungeheueren Mineralreich vorwiegend zu Bausteinen geeignet sind und Verwendung finden. Bei der Besprechung der zu Bausteinen geeigneten Felsarten müssen dann auch die Eigenschaften, die man an dem Baustein für bestimmte Zwecke zu fordern gewohnt, genötigt oder berechtigt ist, Berücksichtigung erfahren.

Der Entstehung nach unterscheidet man *sedimentäre*, durch mechanischen Absatz aus Wasser, oder chemischen Niederschlag aus wässeriger Lösung gebildete, und *eruptive*, in feuerflüssigem Zustande aus dem Erdinneren emporgestiegene Gesteine. Der ersteren Klasse gehören die meisten weicheren Bausteine, Kalksteine, Sandsteine an, der letzteren die Hartgesteine, Basalt, Granit, Porphyr u.s.w. Ihrer *Zusammensetzung* nach teilt man die Gesteine in *krystallinische* und in *Trümmergesteine*. Erstere enthalten die einzelnen Mineralindividuen unmittelbar verbunden, letztere sind durch mechanische Zertrümmerung entstandene Fragmente anderer Gesteine, lose aneinander gehäuft, oder durch ein Bindemittel zusammengehalten. Alle Gesteine können einfach, *gleichartig*, oder gemengt, zusammengesetzt, *ungleichartig* sein; im ersteren Fall sind sie wesentlich aus nur einem, im letzteren Fall aus mehreren Mineralien zusammengesetzt. Die Zahl solcher Gesteine bildenden Mineralien ist eine beschränkte; größer ist die Zahl derjenigen Mineralien, welche als zufällige Bestandteile der Gesteine auftreten und gelegentlich charakteristische Merkmale für ein Gestein bilden. Neben der Zusammensetzung ist die *Struktur* der Gesteine, die Art und Weise, in welcher die Mineralteilchen untereinander verbunden sind, wesentlich für die Beurteilung des Steines. Sind die Gesteine aus krystallinischen Körnern zusammengesetzt, ohne daß in der Zusammensetzung ein Gesetz kenntlich wird (Granit), so ist die Struktur *körnig*; werden die Krystalle so klein, daß sie mit bloßem Auge nicht erkennbar sind, so ist die Struktur *dicht* (Kalkstein). Die Struktur wird *porphyrisch*, wenn in dichter oder feinkörniger Grundlage Einsprenglinge von einem oder mehreren Mineralien vorkommen, und *porphyrartig*, wenn ein Gemengteil eines feinkörnigen, zusammengesetzten Gesteins in größeren Krystallen vorkommt, oder wenn in einem feinkörnigen Gestein einzelne größere Krystalle auftreten. Sind Krystalle nach einer bestimmten Richtung aneinander gefügt, so entsteht *schieferige* Struktur; weist das Gestein leere Hohlräume auf, so wird die Struktur *blasig*, oder *schlackig*, wenn die Hohlräume gewunden und verengt sind. Viele kleine eckige Hohlräume machen ein Gestein *porös*. Nach dem Aufbau des Materials unterscheidet man schließlich noch *geschichtete* und *massige* Gesteine.

Sowohl die Entstehung der Gesteine als auch ihre Zusammensetzung und ihr Gefüge sind für die Verwendung als Bausteine und ihre Bearbeitung entscheidend. Man übersieht leicht, daß geschichtete Gesteine leichter spaltbar sind als massige, daß sedimentäre Gesteine

sich leichter bearbeiten lassen, als eruptive. Aber auch das dichte Gefüge begünstigt die Bearbeitung durch Spanabheben, wegen der mit solchen Gefügen verbundenen gleichartigen Festigkeit und Härte. Dagegen erschwert das dichte Gefüge das Spalten längs größerer Flächen. Körnige und verwachsene Gesteinsarten lassen sich durch Spanabheben um so schlechter bearbeiten, je gröber das Korn und je verschiedenartiger die Härte der Gemengteile ist. Ein gewisser Grad von Spaltbarkeit, der ihnen eigen zu sein pflegt, erleichtert die Bearbeitung in anderer Hinsicht. Bei schieferigen Gesteinen besteht die Umgestaltung vorwiegend im Spalten. Bei dem porphyrartigen Gefüge erschweren die in der Grundmasse eingeschlossenen Krystalle, welche leicht ausbrechen, das Erzeugen glatter Flächen. Bei dem sandsteinartigen Gefüge, in welchem die Mineraltrümmer durch Bindemittel zusammengehalten werden, findet die Ablösung des Spanes beim Bearbeiten fast immer durch Zerreißen statt, weshalb eine völlig glatte Fläche mit diesem Gefüge kaum herzustellen ist. Dieses Gefüge erhöht anderseits die Spaltbarkeit und Formbarkeit in hohem Grade. Viele Gesteinsarten haben die für die Bearbeitung wichtige Eigenschaft, bald nach ihrer Ablösung vom Felsen, in bruchfeuchtem Zustande, weicher und leichter bearbeitungsfähig zu sein als später, da sie an der Luft erheblich härter werden.

Die als Bausteine hauptsächlich in Betracht kommenden Gesteinsarten seien in folgenden Gruppen kurz charakterisiert. Die dabei zu beobachtende Reihenfolge stützt sich am besten auf das Gefüge der Gesteine, denn die geognostischen und mineralogischen Einteilungsgründe, welche das Entstehen und die chemische Natur der Gesteine berücksichtigen, spielen bei der Beurteilung der Bearbeitungsfähigkeit nur eine untergeordnete Rolle. Für den technischen Standpunkt sind überhaupt nur äußere Merkmale, wie Festigkeit, Polierbarkeit, Farbe u. s. w. maßgebend. Mit Rücksicht hierauf seien zunächst massige, ungeschichtete Steine, dann geschichtete Gesteine besprochen.

Granit ist ein krystallinisch körniges Gemenge von Feldspat, Quarz, Kali- und Magnesiaglimmer und Oligoklas. Je nach der Färbung seiner Bestandteile und deren Menge wechselt sein Aussehen. Feldspat ist weiß bis rötlich, Quarz weiß bis gelblich, Magnesiaglimmer grauschwarz bis dunkelbraun. Verschiedene Beimengungen weisen noch andere Farben auf. Das spezifische Gewicht des Granites ist 2,5—2,9. Seine Festigkeit und seine lange Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse machen den Granit zu einem wertvollen Baustein, namentlich aber geeignet als Pflasterstein. Im Laufe längerer Zeit kann allerdings auch der Granit verwittern, da sich der Feldspat an der Luft zersetzt. Als Baustein wird der Granit von seinem, gleichkörnigem Gemenge am meisten geschätzt, weil er sich am schönsten polieren läßt. Granit ist schwer zu bearbeiten.

Gneis ist ein dem Granit ähnliches Gestein, aus denselben Mineralien zusammengesetzt (ohne Oligoklas), hat aber körnigschiefriges Gefüge mit deutlicher Schichtung. Dieses Gefüge wird durch die in bestimmten Ebenen gleichlaufenden Glimmerblättchen hervorgebracht, welche den Gneis leichter spaltbar aber auch weniger haltbar als Granit machen. Der Feldspat im Gneis ist gewöhnlich grau oder weiß, selten rot, der Quarz in der Regel grau, der Glimmer gelbbraun, grau oder schwarz gefärbt. Das spezifische Gewicht vom Gneis ist dasselbe wie das des Granites.

Syenit ist ein krystallinisch-körniges Gemenge von Feldspat, Oligoklas, Hornblende, Magnesiaglimmer und Quarz. Der Feldspat ist meist rötlich, der Oligoklas bräunlichrot, die Hornblende grauschwarz und bald körnig, bald dünnstenglig, der Glimmer schwärzlich grün. Quarz fehlt bisweilen ganz. Syenit ist im allgemeinen feinkörniger als Granit, aber wie dieser bisweilen porphyrartig; er geht häufig in andere Gesteine, namentlich in Granit über und enthält viele Mineralien nebensächlich beigemengt. Das spezifische Gewicht des Syenits beträgt 2,5—3,0. Syenit ist leichter zu bearbeiten als Granit, sehr politurfähig und deshalb sowie seiner schönen Farbe wegen namentlich für reichere Gliederungen, Säulen, Gesimse, Grabsteine u. s. w. sehr geschätzt.

Roter Porphyr oder Quarzporphyr (Felsitporphyr) setzt sich aus einer wahrscheinlich aus verwitterten Bestandteilen des Granits bestehenden dichten Grundmasse mit eingesprengten Krystallen von Feldspat, Oligoklas, Quarz und dunkelgrünem Magnesiaglimmer zusammen. Die Grundmasse ist rot, braun oder grau, hat einen feinsplitterigen oder unebenen Bruch. Der Feldspat ist gewöhnlich rot und heller als die Grundmasse, der Oligoklas gelblich oder weißlich gefärbt. Glimmer und Oligoklas treten bisweilen ganz zurück. Das spezifische Gewicht ist 2,4—2,6. Die Bearbeitung ist schwer, weshalb der gemeine Porphyr meist zu festem Rauhgemäuer verwendet wird.

Syenitporphyr, Glimmerporphyr. Die Grundmasse ist bräunlichrot, rotbraun, dunkelgrau bis schwärzlich, dicht mit feinsplitterigem bis dichtem Bruch und umschließt Feldspatkrystalle, Oligoklas, Magnesiaglimmer und Hornblende, aber fast nie Quarzkörner. Die

Feldspatkrystalle sind fleischrot, gelblich bis grauweiß, nur selten bis 25 mm groß; der Glimmer ist schwärzlich-braun oder grün, die Hornblende oft regelmäßig begrenzt. Fast nie sind alle Bestandteile gleichzeitig vorhanden; Hornblende und Magnesiaglimmer scheinen sich gegenseitig auszuschließen.

Porphyrischer Trachyt ist vulkanischen Ursprungs. Die oft poröse, feine, scharfe Grundmasse besteht aus Albit und Sanidin und umschließt Krystalle von glasglänzendem Sanidin, Hornblende und Magnesiaglimmer. Augit und Titanit sind seltener, und auch Quarz ist kein wesentlicher Bestandteil. Das Gefüge ist bisweilen granitähnlich oder gneisartig oder schiefrig. Trachyt läßt sich ziemlich gut bearbeiten, ist aber nicht immer wetterbeständig. Das spezifische Gewicht ist 2,4—2,7.

Diorit, Hornblendegrünstein besteht aus einem körnigen Gemenge von Albit und vorherrschender Hornblende; nebensächlich finden sich darin grauweiße Quarzkörner, Magnesiaglimmer, Eisenkies, Magneteisen, Titanit und Epidot. Das spezifische Gewicht beträgt 2,7 bis 3,0. Diorit wird seiner großen Festigkeit wegen meist als Rauhstein und Pflasterstein verwendet, häufig unter dem Namen schwarzer Granit oder orientalischer Basalt, wenn er schwarze Hornblende führt und sehr feines Korn besitzt, oder unter der Bezeichnung grüner Granit, der grünen Hornblende wegen.

Diabas-Porphyr. Die oft sehr harte, zuweilen blasige oder mandelsteinartige Grundmasse ist quarz- und hornblendefrei, grünlich, schwärzlich oder weißlich, zuweilen kalkhaltig. Sie schließt ein: a. weiße, graue oder grüne Oligoklas- und Labradorkrystalle (Oligoklas- und Labradorporphyr); b. basaltische Augite (Augitporphyr) oder Uralit (Uralitporphyr). Die letzteren beiden sind oft säulenförmig abgesondert und sehr zäh.

Dolerit (basaltischer Grünstein, Graustein). Zu einem krystallinisch-körnigen, grau oder schwarz gefärbten Gemenge von Labrador, Augit und titanhaltigem Magneteisen tritt zuweilen etwas kohlensaurer Kalk und Spateisenstein. Der Labrador kommt in weißen oder hellgrünen, tafelförmigen, der Augit in schwarzen, säulenförmigen Krystallen vor; beide sind mit bloßem Auge zu erkennen, das Magneteisen jedoch oft nur durch den Magnetstab.

Basalt ist ein grauschwarzes inniges Gemenge von Labrador, Augit, Magneteisen und einem zeolithartigen Mineral, wozu sich in der Regel noch Olivin, oft auch Spateisenstein und kohlensaurer Kalk gesellen. Der Bruch ist uneben, splittrig und flachmuschelig, das Gestein hart, schwer sprengbar und meist säulen-, kugel- oder plattenförmig abgesondert. Eingewachsen finden sich Hornblende, Augit, Oligoklas u. a. m., wodurch bisweilen ein porphyrartiges Aussehen entsteht. Ist der Basalt von vielen kleinen und größeren Blasenräumen durchsetzt, so wird er als verschlackter Basalt bezeichnet. Das spezifische Gewicht ist 2,8—3,0. Basalt findet vorwiegend zu Straßenpflaster Verwendung. Seine große Härte erschwert die Bearbeitung, seine Verwertung wird aber durch das Vorkommen regelmäßiger vier- und mehrkantiger Säulen bis zu 50 m Länge erleichtert, die oft wieder durch Querklüfte in viele einzelne Glieder zerfallen.

Quarzfels (Quarzit) ist körnig bis dicht, zuweilen auch porig, und weiß, grau, rötlich oder gelblich gefärbt, tritt meist massig auf, wird aber auch wohl durch Glimmerplättchen schiefrig. Varietäten sind Kieselschiefer, Hornstein und Jaspis. Das spezifische Gewicht beträgt 2,5—2,7. Quarzfels ist für Mauerwerk nicht gut verwendbar, da er mit Mörtel schlecht bindet und sich auch schwer bearbeiten läßt. Dagegen gibt er gutes Material für Straßenbau ab und wird auch zu Mühlsteinen verarbeitet.

Hornfels ist ein inniges Gemenge von Quarz mit wenig Feldspat und hat graue, braune bis schwarze Färbung und feinkörnigen bis splittrigen Bruch. Er ist sehr fest, gewöhnlich geschichtet und führt beigemengt schwarzen Glimmer, Chlorit und braunen Granat.

Marmor (körniger Kalkstein) ist kohlensaurer Kalk mit geringen Beimengungen anderer Mineralien. Bei körnigem Gefüge ist die Färbung eine sehr wechselnde vom schneeigen Weiß mit durchscheinenden Kanten bis zum tiefen Schwarz. Zu den grobkörnigen Arten gehört der parische und selinische, zu den feinkörnigen der pentelische; zwischen beiden steht der carrarische. Die verschiedenen Arten des Marmors sind zumeist nach der Farbe, zuweilen nach dem Fundort benannt. Als Baustein wird der Marmor seines hohen Preises wegen nur da verwendet, wo besondere Pracht entfaltet werden soll. Er läßt sich verhältnismäßig leicht bearbeiten, ist aber im nördlichen Klima weniger wetterbeständig. Das spezifische Gewicht ist 2,6—2,7.

Dichter Kalkstein besteht aus dichtem kohlensauren Kalk mit fremden Beimengungen in größerer oder geringerer Quantität. Solche Beimengungen sind Thon, Bittererde, Kieselerde, Eisen, Mangan u. s. w. Je reiner der Kalkstein ist, um so splittriger fällt sein Bruch aus. Kieselerdegehalt vermehrt seine Härte, Thonerdegehalt mindert sie. Weiße und grüne Farben sind vorherrschend. Von den zahlreichen Varietäten seien nur genannt: Kohlenkalk, Muschelkalk, Liaskalk, Rogenstein, Alpenkalk, Jurakalk, Kieselkalk, Kreide u. a. Die Kalksteine sind gewöhnlich geschichtet, zuweilen schiefrig. Das spezifische Gewicht ist 2,0—2,7.

Dolomit ist ein Gemenge von kohlensaurer Bittererde und kohlensaurem Kalk, zu denen noch, wie beim Kalk, andere Bestandteile treten. Das Mengenverhältnis beider Hauptbestandteile ist sehr verschieden. Die Dolomite sind gewöhnlich schuppig-körnig und feinkörnig, teils fest, teils loskörnig und weiß, grau oder gelblich gefärbt. Als Baumaterial sind die Dolomite sehr geschätzt. Ihr spezifisches Gewicht ist 2,8—3,0.

Gips, Alabaster besteht der Hauptsache nach aus schwefelsaurem Kalk, ist kristallinisch, faserig, schiefrig oder dicht, und weiß, grau oder bunt, stellenweise auch schwarz gefärbt und gefleckt. Zuweilen ist der Gips deutlich geschichtet, meist aber massig. Das spezifische Gewicht beträgt 2,2—2,4. Anhydrit ist wasserfreier, schwefelsaurer Kalk und dient nur als kieselhaltiges Gestein (Vulpinit) zum Bauen. Abarten des Gipses sind Alabaster, Knochengips, Alpengips.

Grauwacke setzt sich aus Quarz-, Kieselschiefer-, Thonschiefer-, Granit- und anderen, meistens abgerundeten Stücken in einer oft sandigen Thonschiefermasse zusammen. Das Gestein hat oft das Ansehen, als wenn gröbere Gerölle durch feinere verbunden wären. Die Farbe ist grau, bläulich, auch schwärzlich oder rötlich. Grauwacke ist sehr hart und schwer zu bearbeiten.

Sandsteine. Ungleich feine, ziemlich gleichförmige, meist unbestimmt eckige Quarzkörner sind durch ein Bindemittel zusammengefügt, welches sich aus Quarz-, Mergel-, Kalk-, Talk-, Eisenthon- u. s. w. Teilen zusammensetzt. Je nach der Art des Bindemittels ist der Sandstein verschieden in Ansehen, Festigkeit und Härte. Von seinen Varietäten sind die wichtigsten: Quarzsandstein, Thonsandstein, Kalksandstein, Kohlensandstein, Buntsandstein, Keupersandstein, Grünsandstein, Molassesandstein u. s. w. Alle diese Arten finden für Bauzwecke ausgedehnteste Verwendung.

Thonschiefer sind verhärtete Thone sehr verschiedener Zusammensetzung und Herkunft. Sie sind dicht, meist schwärzlich, durch Verwitterung gelb oder rot, stark geschichtet, auf den Spaltflächen schimmernd und aus Kieselerde, Thonerde, Eisenoxyd, Talkerde, Kali, Wasser und Kohle zusammengesetzt. Zu Bauzwecken dienen vorwiegend die Dachschiefer, kristallinische Thonschiefer mit vorzüglicher Spaltbarkeit und grünlich- oder bläulich-grauer glänzender Farbe.

Außer den oben genannten und kurz beschriebenen Felsarten dienen noch eine Reihe anderer Gesteine zu Bauzwecken, die Abarten der aufgezählten Gesteine darstellen oder nur in geringerem Umfange Verwendung finden. Genannt seien: Lava, Gabbro und Serpentin, Phonolit, Pechstein, Kieselschiefer, Kalktuff oder Duckstein u. a. m.

Die Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Gesteine, welche nicht nur wegen deren richtigen Bezeichnung, sondern auch zur Erlangung von Gewißheit über die größere oder geringere Bearbeitungsfähigkeit und Witterungsbeständigkeit von Wichtigkeit sind, lassen sich nicht immer leicht auffinden. Es gehören hierzu methodische Untersuchungen, die nur von Fachleuten ausgeführt werden können.

Die Untersuchung hat sich nach zwei Richtungen zu erstrecken: die wissenschaftliche Untersuchung der Gesteine auf ihren Ursprung und ihre Zusammensetzung, vorwiegend chemisch-mikroskopisch ausgeführt, und die mechanische Untersuchung, welche praktische Zwecke verfolgt und für welche der Verwendungszweck ausschlaggebend ist. Im ersteren Falle wird bei einfachen Gesteinen, da jedes Mineral eine feste chemische Zusammensetzung hat, die chemische Analyse direkt brauchbare Resultate ergeben, sofern man nur ein von zufälligen Beimengungen möglichst freies Material der Untersuchung zu Grunde legt. Von den zusammengesetzten Steinen kann die Analyse dagegen ein gleich erschöpfendes Bild nicht geben. Immerhin wird aber auch bei diesen die Untersuchung einer mittleren Probe des gesamten Gesteines, die sogenannte Pauschalanalyse, wertvolle Anhaltspunkte insofern ergeben können, als die chemischen Formeln der das Gestein zusammensetzenden Mineralien Grenzwerte darstellen, zwischen welche hinein die Resultate der Pauschalanalyse fallen müssen. So werden z. B. die Silikatgemenge durch den Gehalt an Kieselsäure charakterisiert und als siliciumreiche und siliciumarme, saure und basische, über und unter 23 % Kieselsäure enthaltende unterschieden. In den weitaus meisten Fällen wird aber die Untersuchung eines Gesteines erst dann als erschöpfend anzusehen sein, wenn sie sich auch auf die einzelnen Bestandteile ausdehnt. Bei großkörnigen Gesteinen genügt zu diesem Zweck Auslesen der verschiedenen Mineralien mittels der Lupe. Bei feinkörnigen Gesteinen gibt der Unterschied im spezifischen Gewicht ein Mittel zur Scheidung, indem man Flüssigkeiten von hohem spezifischen Gewicht, z. B. Quecksilber-Jodid und andere herstellt und, sie allmählich verdünnend, aus dem hineingeschütteten Gesteinspulver die Trümmer in der Reihenfolge ihres spezifischen Gewichtes sondert.

Hand in Hand mit der chemischen Prüfung der Gesteine muß die mikroskopische Untersuchung schreiten. Zu diesem Zwecke stellt man aus den Steinen Dünnschliffe her, in welchen fast alle Bestandteile durchsichtig werden und nun durch Anwendung zweier drehbarer Nicolscher Prismen, das eine unter dem Objekttisch des Mikroskops und das andere zwischen Objekt und Auge, im polarisierten Lichte untersucht werden können. Der

Unterschied zwischen amorphen und doppelt brechenden Kryſtallen ist dabei sofort auffindbar, und für eine Reihe der letzteren, soweit sie als Bestandteile des Gesteins vorkommen, ist ihr Verhalten im polarisierten Lichte charakteristisch. Neuerdings hat man die mikroskopische Untersuchung mit der chemischen vereinigt, indem man Reagentien unter dem Mikroskop auf Dünnschliffe einwirken läßt.

Die zweite Art der Prüfung der Gesteine dient wesentlich anderen Zwecken. Wenn es sich um die Auswahl von Bausteinen für bestimmte Verwendungsarten handelt, muß man sich über die einzelnen Eigenschaften der Materialien, welche dem Verwendungszweck besonders entsprechen, völlig klar sein. So muß man wissen, ob ein Stein, der zu Straßenpflaster verarbeitet werden soll, neben der Bearbeitungsmöglichkeit auch ausreichende Festigkeit und Undurchlässigkeit besitzt. Er muß dem Schlag der Pferdehufe und den Stößen der Wagenräder genügend Widerstand entgegensetzen und darf sich auch nicht leicht abschleifen oder glätten. Der Baustein, der als tragender Teil im Gebäude Verwendung finden soll, muß eine solche Druckfestigkeit besitzen, daß er für die Standsicherheit des Gebäudes ausreichende Gewähr bietet. Ein Stein wiederum, der an der Außenseite von Gebäuden zu bildnerischem Schmucke Verwendung finden soll, muß neben leichter Formbarkeit ausreichenden Widerstand gegen Wasser und sonstige Witterungseinflüsse: Frost, abwechselnde Erwärmung durch Sonnenstrahlen und darauf folgende Abkühlung u. s. w. besitzen. Die Prüfung der Steine auf diese Eigenschaften ist daher von hervorragender Bedeutung und zu einer selbständigen Wissenschaft geworden. Die Prüfung erfolgt nach internationalen Vereinbarungen in eigens diesem Zwecke dienenden staatlichen und privaten Versuchsanstalten und erstreckt sich im wesentlichen auf die Bestimmung des Bruchgefüges, der Farbe, des Raumgewichtes, des spezifischen Gewichtes, des Dichtigkeitsgrades (Porosität), der Druckfestigkeit im trocknen und im wassersatten Zustande, sowie nach wiederholter Frostbeanspruchung der Steine und endlich der Abnutzbarkeit und Ritzfestigkeit. Je nach der beabsichtigten Verwendung, muß ein Stein in allen diesen Eigenschaften oder in einigen den Anforderungen genügen.

Die Druckfestigkeit der Steine ermittelt man an regelmäßigen Würfeln von 4—6 cm Seitenlänge, welche aus den Steinblöcken mittels Diamantsäge herausgeschnitten und auf den Druckflächen völlig eben bearbeitet werden. Diese Würfel werden auf hydraulischen Pressen zerdrückt, und die Bruchlast wird gemessen. Im allgemeinen ist die Festigkeit der natürlichen Steine im trocknen Zustande höher als im bruchfeuchten oder im wassersatten. Die Druckfestigkeit fast aller Steine nimmt noch mehr ab, wenn die Probewürfel vor der Druckbeanspruchung wiederholt dem Frost ausgesetzt und wieder aufgetaut werden. Der Grad der Abnahme der Festigkeit durch Wasseraufnahme oder Frostbeanspruchung gibt einen Maßstab für die voraussichtliche Wetterbeständigkeit des Gesteines. Der Grad dieser Festigkeitsabnahme steht nicht im direkten Verhältnis zur Porosität der Steine. Es gibt Bruchsteine von hoher Porosität und entsprechend hohem Wasseraufnahmevermögen, welche durch Frost wenig oder gar nicht angegriffen werden, während andere anscheinend dichte Gesteine, die nur wenig Wasser kapillar aufsaugen, oft erheblich unter der Einwirkung des Frostes leiden.

Die Porosität eines Gesteines kann man durch wiederholtes Eintauchen des Steines in Wasser bestimmen, oder man kann den Dichtigkeitsgrad berechnen aus dem Raumgewicht r des Steines (Gewicht des von der Raumeinheit des Steines einschließlich seiner Hohlräume verdrängten Wassers) und dem spezifischen Gewicht s (Gewicht des lückenlosen Steinpulvers), indem man den Quotienten aus beiden bildet. Es ist dann der Dichtigkeitsgrad $d = \frac{r}{s}$.

Für die Bestimmung der Abnutzbarkeit der Steine, die vorwiegend an Pflasterungsmaterialien vorgenommen wird, hat man verschiedene Verfahren. Man setzt entweder regelmäßig bearbeitete Steinwürfel der Abnutzung einer rotierenden und mit Schmirgel bestimmter Korngröße in bestimmtem Verhältnis bestreuten Gußeisenscheibe aus und ermittelt den Gewichtsverlust nach einer gewissen Anzahl von Umdrehungen der Scheibe, oder man bringt die Steinstücke in eine rotierende Trommel zusammen mit Eisenteilen nud stellt nach einer gewissen Umdrehungszahl den Grad der Zerkleinerung fest.

Die Druckfestigkeit der Bausteine ist selbst innerhalb der einzelnen Gesteinsarten eine außerordentlich verschiedene; um zuverlässige Mittelwerte zu finden, muß man deshalb für jeden Stein eine möglichst große Anzahl gleichartiger Versuche ausführen. Will man einzelne Gesteinsarten in Bezug auf Festigkeit miteinander vergleichen, so sind naturgemäß noch weit mehr Versuche erforderlich. Gary hat aus den innerhalb eines Zeitraumes von zehn Jahren in der Königl. Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg ausgeführten Versuchen auf Druckfestigkeit natürlicher Bausteine die in der nachstehenden Tabelle enthaltenen mittleren Druckfestigkeiten berechnet. Die Zusammenstellung zeigt für die sieben herausgegriffenen Gesteinsgruppen, daß sie sämtlich durch Wasseraufnahme eine Einbuße an ihrer Festigkeit erleiden und daß schon einmaliger Frost imstande ist, die Festigkeit noch weiter herabzudrücken. Die größte Festigkeitsabnahme erlitten die geprüften Steine durch Frostbeanspruchung unter Wasser. Scheinbar leiden am meisten Sandsteine, Granite und Kalksteine durch Wasser, während Sandsteine, Grauwacken und Kalksteine unter den sieben Gesteinsgruppen dem Frost am wenigsten Widerstand entgegensetzen.

Zusammenstellung der mittleren Druckfestigkeit der hauptsächlichsten Bausteine.

Gesteinsarten.	Zahl der Versuche	Mittlere Druckfestigkeit in kg/qcm			
		lufttrocken	wassersatt	nach einmaliger Frostbeanspruchung an der Luft	nach einmaliger Frostbeanspruchung unter Wasser
Granite	5530	2206	2078	2037	2037
Hornblendegesteine und Ophiolite (Grünstein, Diabas, Diorit)	320	2757	2640	2566	2553
Porphyre	1000	2631	2519	2491	2488
Augitgesteine (Basalt)	680	3616	3513	3478	3458
Kalksteine (Marmor)	800	1028	972	955	932
Sandsteine	3960	922	850	822	825
Grauwacke	600	2393	2301	2202	2148

Die Wirkung von Wasser und Frost auf die Steine ist eine Wechselwirkung. Die Zerstörung selbst sehr harter Steine geht unter dem Einflusse der Witterung zumeist von vorhandenen, oft sehr feinen Rissen aus. Die Feuchtigkeit, die — wenn auch nur in geringer Menge — in die Poren und Haarrisse, oder zwischen die Schichten des Gesteins eindringt, wird beim Gefrieren mit großer Kraft ausgedehnt und führt dadurch das Zerbersten und Zersplittern der Gesteinsmasse herbei. Werden die Bausteine bei der Verwendung nicht horizontal, sondern vertikal ihrer Schichtungsrichtung gelegt, so blättern sich die Schichten im Laufe der Zeit voneinander ab, wie die Blätter eines aufrecht gestellten Buches auseinandergehen. Die chemischen Einflüsse der Atmosphärilien, welche die Verwitterung gewisser Bausteine beschleunigen, können hier nur erwähnt werden.

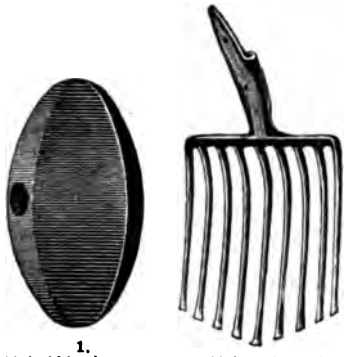
Die Verarbeitung der Felsarten.

Chausseebaumaterial.

Zum Straßenbau können aus einleuchtenden Gründen nur Hartgesteine Verwendung finden, vorwiegend Granit, Gneis, Diabas (Grünstein), Basalt, Gabbro, Quarzfels u. s. w. Neben ausreichender Festigkeit ist wohlfeile Beschaffung Hauptbedingung. Zum Baue unserer Kunststraßen werden fast alle Hartgesteine im roh zerteilten Zustande als „Schottermaterial" verwendet. In den rheinischen Basaltbrüchen unterscheidet man: Grobschrot, Stücke von 4—7 cm Länge, Feinschrot, Stücke von 3—5 cm Länge, Grobsplit, Stücke von 3—2 cm Länge, Feinsplit, Stücke von 1—2 cm Länge, Grand, Stücke von weniger als 1 cm Länge. Während Grobsplit, Feinsplit und Grand für den Betonbau Verwendung finden, benutzt man Grobschrot und Feinschrot vorwiegend als Deckmaterial für den Chausseebau.

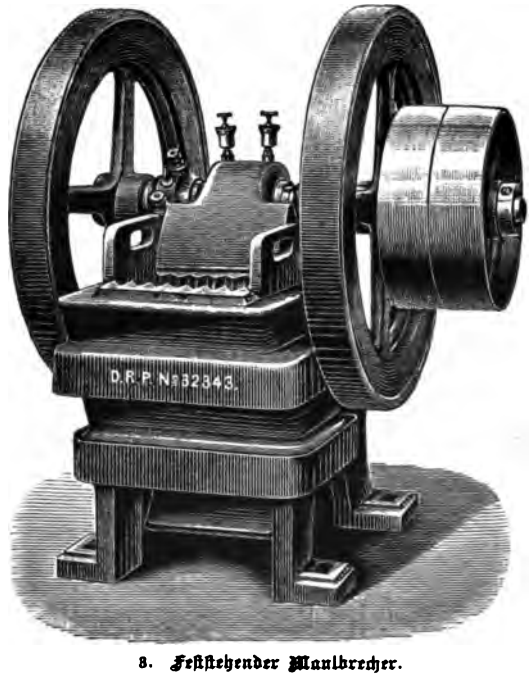
Der Schrot, auch Schotter, Steinschlag, Kleingeschläge genannt, wird zumeist aus den Abfällen bei der Pflastersteinfabrikation oder aus unregelmäßigen Stücken (auch

Findlingen) gewonnen, die sich zu Pflastersteinen nicht verarbeiten lassen. Die Zerkleinerung der Steine auf möglichst gleichmäßige Stücke in der gewünschten Größe kann durch Handbetrieb erfolgen, wie ihn die Steinklopfer auf unseren Chausseen ausüben, oder durch Maschinenkraft. Der Steinklopfer bedient sich eines langstieligen eigenartig geformten Stahlhammers (Abb. 1) zur Zerkleinerung der Steine und der Steinschlaggabel (Abb. 2), um die zu groben oder zu feinen Stücke aus dem Steinschlag wieder auszulesen. Im Großbetriebe reicht die Handarbeit für die Steinzerkleinerung und die Verarbeitung der Abfälle nicht aus, und man muß Maschinenkraft zu Hilfe nehmen. Die älteste und für diesen Zweck gebräuchlichste Steinzerkleinerungsmaschine ist der Maulbrecher. Diese Maschinen werden oft fahrbar dargestellt, und in den Steinbrüchen selbst mit einer Lokomobile gekuppelt, also unmittelbar am Fundorte des Gesteines vielfach verwendet. Im geordneten Fabrikbetriebe ist die Maschine naturgemäß auf festem Fundament verankert, wie Abb. 3 zeigt, welche einen Steinbrecher des Grusonwerkes darstellt. Diese Maschine zeichnet sich durch eigenartige Riffelung der Brechbacken für Straßenschottererzeugung aus.



1. Steinschlaghammer. 2. Steinschlaggabel.

Die wesentlichsten Teile sind zwei im spitzen Winkel gegeneinander gestellte eiserne Platten, zwischen welche die zu zerbrechenden Steine geschüttet werden. Die eine Platte steht fest, die andere ist in Zapfen beweglich und nähert sich der feststehenden Platte durch die Wirkung eines Kniehebels oder eines Excenters, während die Rückbewegung durch das Gewicht der Platte, unterstützt durch eine Feder oder ein Gegengewicht, erfolgt. Bei der Rückbewegung findet eine Erweiterung des Brechmaules statt, in deren Folge das darin befindliche Steinmaterial tiefer in das Maul einsinkt, bis es wieder an beiden Brechbacken fest anliegt. Die hierauf erfolgende Annäherung der beiden Platten wird, wenn der Winkel zwischen beiden genügend klein gewählt ist, um ein Ausweichen der Steine nach oben zu verhindern, eine Zerdrückung der Steine zur Folge haben. Bei rasch aufeinanderfolgender Wiederholung dieser Schwingungen des einen Brechbackens, welche durch schwere Schwungräder unterstützt werden, sinken die oben aufgegebenen großen Steine immer tiefer ein und werden allmählich zu immer feinerem Korn zerdrückt.

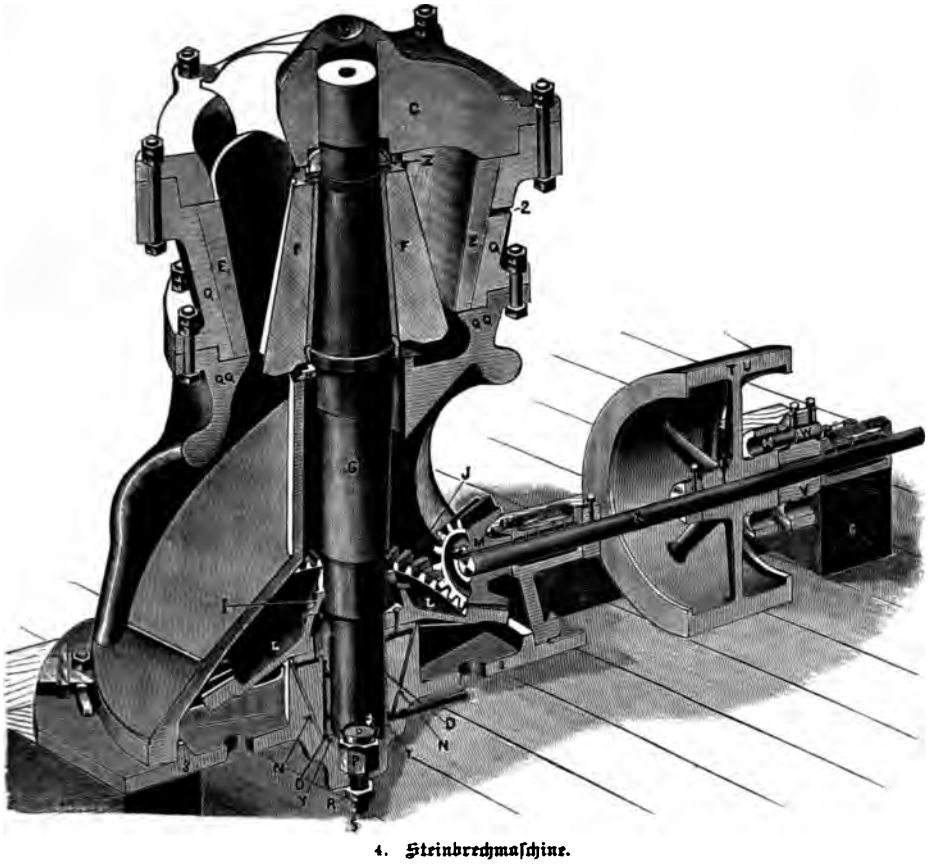


3. Feststehender Maulbrecher.

Dieser einfache Maulbrecher hat mehrfache Modifikationen erfahren. So hat man als Brechwerkzeug zwei Keile verwendet, die zwischen Walzen laufen und einander so genähert werden, daß auch die größten vorkommenden Stücke zwischen die Backen gelangen können. Eine andere Ausführungsart benutzt nur einen Keil, der auf beiden Seiten mit Arbeitsflächen gepanzert ist und sich in der Mitte zwischen zwei festen Wänden befindet, gegen welche er bei seinem Auf- und Niedergang das zu zerkleinernde Material preßt. Diese Maschine (D. R.-P. 84039) beruht also auf der Ausübung eines

diskontinuierlichen Druckes auf das zu zerkleinernde Material, zu dem noch eine geringe reibende Wirkung an den beweglichen Arbeitsflächen tritt. Bei anderen Maſchinen iſt wieder die reibende Wirkung ſtärker an der Zerkleinerung beteiligt.

In Amerika, wo man der maſchinellen Steinzerkleinerung höhere Aufmerkſamkeit zuwenden muß als bei uns, weil die Arbeitskräfte dort weſentlich teurer ſind, hat man auch die Steinbrechmaſchinen am meiſten vervollkommnet. Abb. 4 zeigt einen perſpektiviſchen Durchſchnitt durch eine Zerkleinerungsmaſchine der Gates Iron-Works, Chicago. Die ſtehende Hauptwelle G läuft in einem Spurlager O P R S und wird in der Mittellage des Trichters Q durch das Kopfſtück C gehalten. Der koniſche Steinbrecher F iſt mit Zähnen verſehen und feſt auf der Welle aufgekeilt. Zur beſſeren Befeſtigung dienen die Ringe Z.



4. Steinbrechmaſchine.

Innerhalb des Trichters Q bilden zwölf Eiſenſtücke E den Mahlring, deſſen Zwiſchenräume durch das Loch 2 mit Zink ausgegoſſen werden. I und N N ſind Ölgänge, welche in die empfindlichſten Teile der Maſchine durch die Grundplatte 3 eingeführt ſind und welche bei Y das Öl in das Spurlager führen. Die Hauptwelle G kann zur Regulierung der Austrittsöffnungen zwiſchen E und F durch die Schraube S gehoben und geſenkt werden. Durch die excentriſche Lagerſchale D bekommt der Schaft G und mit ihm der Brechkonus F eine ſchwingende Bewegung. Der Excenter D wird durch das Zahnrad L angetrieben, welches den Antrieb von der Welle X mit Hilfe der Riemſcheibe T U und des Zahntriebes M erhält. Da der Schaft G in dem Excenterſtück D loſe geführt iſt, dreht er ſich in ihm beim Leergang der Maſchine, ſobald aber der Brechkonus F Widerſtand an einem eingeworfenen Steinſtück findet, beginnt G und D zu gleiten, und der Schaft G führt nun gleichzeitig eine ſtoßende und rundumlaufende Bewegung aus.

Aus allen den Steinbrechern kommt nun das Material nicht völlig gleichmäßig heraus, sondern es muß noch nach der Größe sortiert werden, um es verwendbar zu machen. Dazu benutzt man entweder die bereits erwähnte Steinschlaggabel (Abb. 2) oder gelochte Bleche mit verschiedener Lochweite. Solche Siebbleche können in geneigter Ebene angebracht sein, so daß das Steinmaterial über sie hinweggleitet (Schurrsieb), oder sie sind in Cylinderform gebogen und bilden eine Art rotierenden Siebes, wie es Abb. 5 darstellt. Die verschieden großen Stücke fallen bei dieser Vorrichtung in Auslaufrinnen, die sie in untergeschobene Karren verteilen.

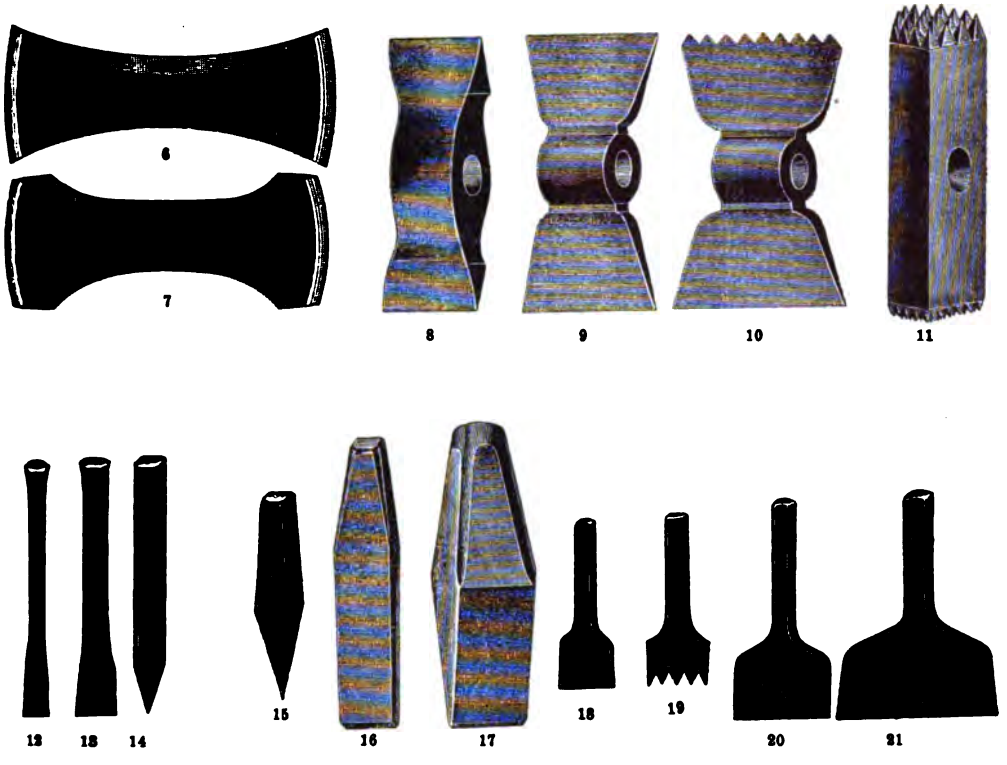
5. Siebcylinder.

Auf den Transport des Schottermaterials, wie auch der bearbeiteten Steinstücke soll weiter unten noch mit einigen Worten eingegangen werden.

Pflastersteine.

Wesentlich dieselben Felsarten, wie sie für die Herstellung von Schotter- und Packmaterial dienen, als Granit, Gneis, Diorit, Dolerit, Basalt, Gabbro u. s. w. werden auch für die Herstellung von Pflastersteinen verwendet. Vielfach kommen die Steine in großen und unregelmäßigen Stücken zur weiteren Verarbeitung, und es ist daher (z. B. bei Basalt) notwendig, einen schweren Hammer zum Zerlegen größerer Stücke oder zur Aufdeckung solcher Stellen anzuwenden, welche dem Spalten wenig Widerstand entgegensetzen. Solche Stellen müssen ausgeschieden werden, weil mit wenigen Ausnahmen die Kopffläche des Pflastersteines, welche die Fahrbahn bildet, winkelrecht zu der Spaltrichtung gewählt wird und weil bei Vorhandensein schwacher Stellen in der Hauptspaltrichtung im fertigen Steinpflaster unter der Einwirkung schwer belasteter Wagenräder leicht Absprengungen eintreten würden.

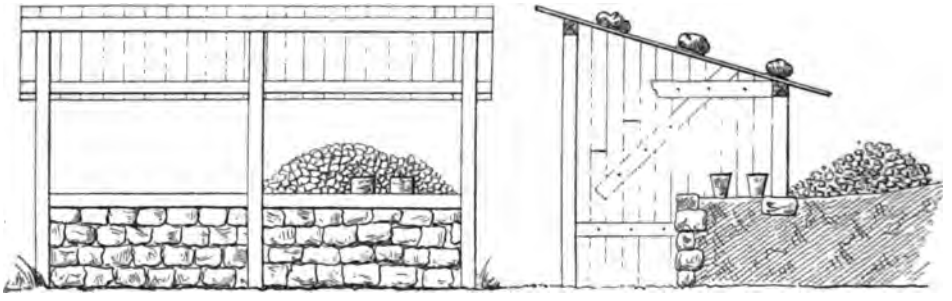
Im allgemeinen werden die Pflastersteine in Form regelmäßiger Würfel (Wiener Pflaster) oder regelmäßiger Parallelepipeden oder nach einer abgestumpften Pyramide gestaltet, deren Grundfläche den Kopf, d. h. diejenige Fläche des Pflastersteines bildet, welche nach dem Versetzen der Steine die Fahrbahn bildet (Kopfsteinpflaster). Um die im Steinbruche von der Wand losgelösten oder von größeren Blöcken in der einen oder anderen Weise abgesprengten mehr oder minder unregelmäßig gestalteten Gesteinstücke in die gewünschte Form überzuführen, bedient man sich der sogenannten Fläche oder des Schellhammers (Abb. 6, 7, 8), d. i. eines Hammers mit zwei in der Richtung des Helmes liegenden schmalen Finnen oder abgerundeten Schneiden. Die Zuschärfung des Hammers wählt man je nach der Härte des Gesteins verschieden. Für sehr harte Steine macht man den Winkel, den die beiden Schneidflächen zu einander bilden, bis zu 50° groß, für weichere Steine kleiner bis herab zu 25°. Zuweilen sind die schwach gewölbten Schnittkanten nicht gleich verlaufend, sondern schließen einen Winkel ein, dessen



6—33. Steinhauerwerkzeug.

Scheitel etwas hinter der Hand des Arbeiters liegt. Selbstverständlich muß für diesen Hammer, wie für die meisten Steinbearbeitungswerkzeuge bester Stahl mit etwa 0,7 bis 0,9 % Kohlenstoffgehalt verwendet werden, der sorgfältig gehärtet wird. Der Schellhammer, mit wuchtigem Schlag gegen den Stein getrieben, bewirkt entweder ein Spalten des letzteren oder ein Abspringen kleiner Stücke. Zur genaueren Gestaltung des Arbeitsstückes verwendet man einen kleineren Schellhammer, der nur mit einer Hand geschwungen wird. Im Großbetriebe finden wohl auch durch Maschinenkraft betriebene Schellhämmer (Spaltmaschinen) Verwendung. Bei diesen ist einem keilartigen Ambos ein ebenso keilartig gestalteter Hammer gegenüber gestellt, der direkt oder indirekt an der Stange des Dampfkolbens befestigt ist, so daß der Stein gleichzeitig an zwei einander gegenüber liegenden Stellen angegriffen wird. Zur feineren Bearbeitung der Kopfflächen von Pflastersteinen kommt zuweilen der Kraushammer oder Scharierhammer (Abb. 11 u. 31—33) in Anwendung.

Die Bearbeitung der Pflastersteine findet weitaus in den meisten Fällen direkt im Steinbruche statt, wo keine bedeckten Räume zur Verfügung stehen und die Steinhauer daher allen Unbilden der Witterung ausgesetzt sind. Weil der Arbeitsplatz mit dem fortschreitenden Abbau des Bruches häufig wechselt, lassen sich feststehende Gebäude zum Schutze der Arbeiter nicht errichten, und diese müssen sich häufig mit geflochtenen Stroh- oder Rohrwänden begnügen, die sie auf der Windseite aufstellen und die auch dazu benutzt werden,



34. Schutzhütte für Steinhauer.

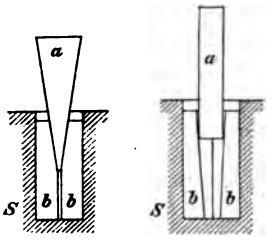
die durch das Werkzeug des einen Mannes abspringenden Splitter von dem Arbeitsplatz des Nachbars fernzuhalten, der durch solche Splitter gefährdet würde. In einzelnen Hartsteinbrüchen hat man aber auch bleibende Arbeitsplätze errichtet, denen das Material durch Feldbahnen zugeführt wird. Abb. 34 stellt eine an die Berglehne angebaute Schutzhütte mit zwei Arbeitsplätzen dar. Den Abfall häuft der Steinhauer vor sich an, die fertigen Steine setzt er hinter sich, von wo sie abgefahren werden.

Rauhsteine.

Mit dem Namen Rauhsteine bezeichnet man solche zu Bauzwecken bestimmte Steinblöcke, welche vorwiegend zwei gleichlaufende Flächen, die die wagerechten Fugenflächen im Mauerwerk bilden sollen, und eine in die Außenfläche des Mauerwerks kommende, zu den ersteren im wesentlichen winkelrechte Fläche aufweisen. Da es sich bei diesen Steinen fast immer nur darum handelt, die durch das Brechen der Steine gewonnene unregelmäßige Gestalt zu berichtigen, weicht die Bearbeitung der Rauhsteine nur wenig von der der Pflastersteine ab. Die beiden Fugenflächen sind zumeist schon durch die Schichtungen des Felsens im Stein vorhanden und werden durch Spalten größerer Blöcke erzeugt.

Da größere Blöcke auch für andere Zwecke nach ihren Lagerfugen gespalten werden, so mag diese Arbeitsthätigkeit gleich an dieser Stelle besprochen werden. Gewisse Gesteinsarten, wie Kalkstein, Sandstein u. s. w. spalten in sich schon beim Loslösen von der Wand, je nach der Mächtigkeit der Schichten; oft bedarf es nur eines geschickten Schlages mit dem Schellhammer auf die nicht zu großen Stücke, um die Trennung der Schichten

herbeizuführen. Größere oder schwerer zu spaltende Stücke werden mit eisernen Keilen behandelt, die man auf den Rand der sichtbaren Spaltflächen aufsetzt und vorsichtig eintreibt. Noch größere Stücke von wenig vollkommener Spaltbarkeit verlangen sorgsamere Behandlung, vor allem ein möglichst gleichmäßiges Eintreiben sämtlicher gleichzeitig auf die Länge der beabsichtigten Spaltung aufgesetzten Keile. Solche Steinkeile sind in Abb. 15—17 dargestellt. Bei schwierigeren Spaltungen stellt man auf die ganze Länge der zu erzeugenden Spaltfläche eine Anzahl meistens runder Löcher her, setzt in sie, wie Abb. 35 und 36 zeigt, hölzerne oder eiserne Beilagen b und treibt dann Keile a zwischen diese, wodurch der zum Spalten des Steines dienende Druck tiefer gelegt wird. Holz eignet sich für die Beilagen b besser als Eisen, weil es sich an die Wandfläche des Loches besser anschmiegt und so den Druck des Keiles gleichmäßiger überträgt. Zuweilen macht man auch, wie Abb. 36 zeigt, die Beilagen keilförmig und das getriebene Stück a stabförmig. Hierdurch wird der zum Zerreißen des Steines dienende Druck allmählich tiefer in den Stein gelegt.



35 u. 36.
Anwendung der Spaltkeile.

Zuweilen wird bei Rauhsteinen die Schauseite mehr oder weniger regelmäßig bearbeitet und zwar nach denselben Arbeitsverfahren, die weiter unten unter den Hausteinen besprochen werden sollen.

Hausteine.

Alle natürlichen Gesteine, die sich überhaupt zu Bauzwecken verarbeiten lassen, werden auch zu Hausteinen verwendet. Da aber für den Haustein der Grad der Bearbeitungsfähigkeit entscheidend für seine Auswahl ist, werden im allgemeinen aus ökonomischen Gründen solche Gesteine bevorzugt, die sich leicht mit Stahlwerkzeugen bearbeiten lassen, und erst in zweiter Linie und an Orten, wo besonders hohe Festigkeit und Wetterbeständigkeit erforderlich ist, kommen Hartgesteine, wie Granit, die meisten Porphyre, Diorit, Basalt, Quarzfels u. s. w. in Frage, deren Bearbeitung der größeren Härte wegen mit größeren Kosten verknüpft ist. Beim Losbrechen der Steine von der Felswand nimmt man nach Möglichkeit auf die später dem Blocke zu gebende Form bezüglich seiner Abmessungen Rücksicht, doch werden hauptsächlich die Hausteine in so großen Stücken gewonnen, daß sie vor weiterer Bearbeitung einer Zerlegung bedürfen. Für die Teilung größerer Hausteinblöcke kennt man das Zerlegen durch Keile, wie es schon oben besprochen wurde, und das Zersägen.

Sägen der Steine. Die Stahlsäge, wie sie zur Holzbearbeitung benutzt wird, kann nur für Weichgesteine, Gips, Dachschiefer u. s. w. in Frage kommen. Ihre Anwendung ist eine ganz ähnliche wie die der Holzgattersäge und unterscheidet sich wesentlich von dieser nur durch das Benässen der Sägeblätter mit Wasser zur Abkühlung und zur Verhinderung der Staubbildung. Zum Zerschneiden von Hartgestein muß man Sägeblätter mit auswechselbaren Stahlzähnen von besonderer Härte oder besser Sägeblätter mit eingesetzten Diamantsplittern (schwarzen Diamanten) verwenden.

Diamantsägen neuerer Konstruktion sind zuerst in Amerika, dann in England verwendet worden — denn die alte ägyptische Steinsäge ist nicht bis auf unsere Zeit überkommen — haben sich aber auch in Deutschland ihrer großen Leistung wegen schnell verbreitet, namentlich soweit die Langsäge in Betracht kommt. Die von Young, dem Erfinder der Diamantsäge, gebaute Gatterdiamantsäge besteht im wesentlichen aus acht im Mauerwerk eingesetzten Säulen, welche durch viereckige horizontale Rahmen verbunden sind. Die vertikalen Führungen des Gatters sind an den Säulen angeschraubt. Die horizontalen Führungen hängen in Muttern und verschieben sich an den vertikalen Führungen. Die Einrichtung ist so getroffen, daß der Sägerahmen vollkommen parallel gehoben und gesenkt werden kann. Um den Vorschub des Sägeblattes zu bewirken, ist der Rahmen durch Hebel und Schrauben mit der Antriebsmaschine gekuppelt. Das Sägeblatt wird in den horizontalen Gatterrahmen straff eingespannt, und dem Rahmen wird mittels

einer Kurbelscheibe und Leitstange eine hin und her gehende Bewegung erteilt. Damit die Diamanten nicht gelockert werden, müssen sie in solcher Weise auf den Stein wirken, daß sie nur in einer Richtung Druck erfahren, also nur ritzen. Das Sägeblatt wird daher nur während des Schnittes an den Stein angedrückt und während des Rückganges von demselben abgehoben. Trotzdem beruht die Hauptschwierigkeit für die Verwendung der Diamantsägen — namentlich wenn es sich um die Bearbeitung sehr harter, in der Masse unregelmäßiger Steine handelt — in der Befestigung der Diamantspitzen. Die einzelnen Sägezähne, in welche die Diamanten mit Hartlot eingelötet werden, sind aus Stahl und werden schwalbenschwanzförmig in das weichere Sägeblatt eingeschoben und vernietet, so daß sie für das Umsetzen der Diamanten leicht herausgenommen werden können. Der Schnittstelle des Steines wird Wasser zugeführt.

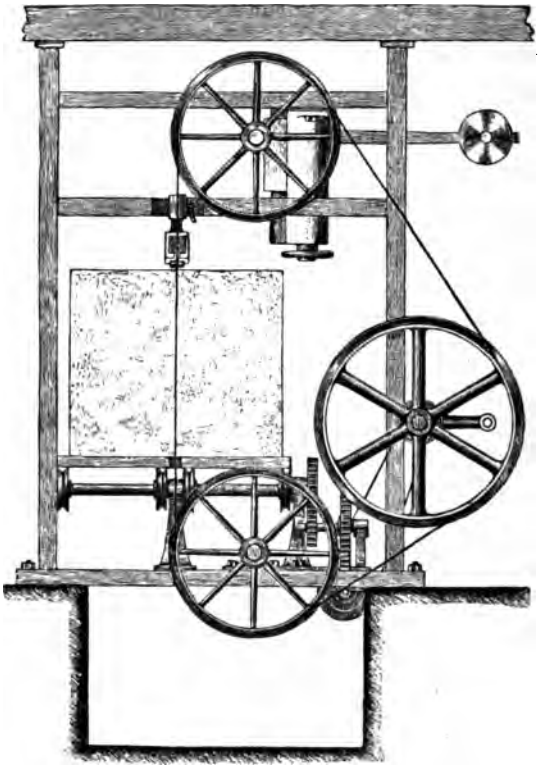
In ähnlicher Weise hat man auch Kreissägen mit Diamanten ausgestattet und solche Sägen bis zu 1,8 m Durchmesser des Sägeblattes konstruiert. Diese Sägen haben indessen den Nachteil, daß sie mit großer Geschwindigkeit betrieben werden müssen, wenn sie rationell arbeiten sollen, und daß infolge der unvermeidlichen Stöße die Diamanten sich leicht lockern. Um diese Nachteile einigermaßen auszugleichen und die Säge dem Steinmaterial nach Möglichkeit anzupassen, hat man sie so konstruiert, daß die Umdrehungsgeschwindigkeit in weiten Grenzen bis zu 500 pro Minute verändert werden kann. Hierdurch ist man in der Lage, bei der Anwendung von gehärteten Stahlspitzen anstatt der Diamanten und bei starkem Vorschub langsame Drehung, und bei Verwendung von Diamantspitzen rasche Rotation mit geringem Vorschub benutzen zu können. Die meisten derartigen Maschinen sind so eingerichtet, daß der Tisch oder das Bett, worauf der zu schneidende Stein liegt, mit einer Geschwindigkeit von 2—100 mm für jede Drehung der Säge dem Sägeblatt entgegengeführt wird. Diese Bewegung wird von der Sägewelle abgeleitet.

Weniger kostspielig und deshalb allgemeiner angewendet, als das Sägen mittels Diamanten, ist das Zerlegen der harten Gesteine durch Schleifwirkung. Es wird hierzu die für die Bearbeitung harter Stoffe überhaupt sehr wertvolle Thatsache benutzt, daß beim Verschieben eines weichen und eines harten Körpers gegeneinander ein zwischen beide gebrachtes Schleifmittel (Quarzsand, Schmirgel, Stahlpulver, Diamantin u. s. w.) den weichen Körper viel weniger angreift, als den harten. Diese Thatsache wird bei den sogenannten Schwertsägen benutzt. Es sind dies dünne in Rahmen gespannte Blätter aus Kupfer oder weichem Schmiedeeisen (Flußeisen), welche mit Hilfe von Quarzsand schleifend auf den Stein einwirken und ihn zerschneiden, wobei zur Kühlung des Sägeblattes Wasser zugeführt wird. Um das zu rasche Abfließen des Gemenges von Quarzsand und Wasser zu verhindern, bewegt man die Sägeblätter in wagerechter Richtung von Hand oder mittels Kurbel und Leitstange, wobei sie durch ihr eigenes Gewicht, das nach Bedarf durch Gegengewichte aufgehoben wird, gegen den festliegenden Stein drücken. Der möglichst scharfkantige Quarzsand wird mit der Schaufel aufgegeben, oder er ist über dem Gatter in einem Gefäß mit durchlochtem Boden aufgehäuft und wird durch auftropfendes Wasser der Arbeitsstelle zugespült. Im allgemeinen rechnet man auf 1 l Sand 4—5 l Wasser, ändert aber dieses Verhältnis nach Bedarf. Für härtere Gesteine verwendet man wohl an Stelle des Sandes abgeschreckte Gußeisenkügelchen, die durch Zerstäuben des dünnfließenden Eisens mittels eines Dampfstrahles und Abkühlung der entstehenden Kügelchen in Wasser erzeugt werden. Auch zerstoßenes scharfkantiges Eisenpulver (Diamantin) wird mit Vorteil zum Schneiden harter Steine mittels der Schwertsäge verwendet.

Die Angaben über die Leistungsfähigkeit der Steinsägen, die man in der einschlägigen Fachlitteratur und in Prospekten findet, sind nur selten zuverlässig, denn die Leistung des Schneidwerkzeuges ändert sich nicht nur mit der Härte des zu schneidenden Materials, sondern auch mit den Eigenschaften des Schneidwerkzeuges und des etwa verwendeten Schleifmittels.

Das Wesentliche in der Konstruktion der Schwertsäge ist vorn erwähnt: kleine Abweichungen von dem Grundtypus bieten uns für bestimmte Zwecke bestimmte Vorteile.

Bei allen Gatter-Steinschneidemaschinen treten aber gewisse Schwierigkeiten auf, die dem Konstruktionssystem eigentümlich sind. Um die Blätter zu schonen, darf ihr Druck gegen den Stein eine gewisse Größe nicht überschreiten, darf aber anderseits, um möglichst große Leistung zu erzielen, nicht zu klein sein. Wie bereits erwähnt, regelt man daher diesen Druck durch teilweises Aufheben des Eigengewichtes des Sägerahmens. Das Gatter aber überragt den Stein bei seiner schwingenden Bewegung bald an der einen, bald an der anderen Seite, so daß ein Teil seines Gewichtes nicht gleichförmig auf die Länge jeder Schnittfuge übertragen wird. Man ist somit genötigt, um an dem Ende des Steines, welches von dem Gatter bedeutend überragt wird, den Druck in der Grenze des Zulässigen zu halten, an dem anderen Ende nur einen recht geringen Druck anzuwenden. Bei neueren Steinschneidemaschinen gleitet deshalb das Gatter in einem senkrecht geführten Rahmen, an welchem die Ketten der Gegengewichte und zwar möglichst an den äußeren Enden desselben befestigt sind. Auch hängt man wohl den Rahmen mit vier Ketten an eine Winde, welche ihn allmählich oder ruckweise niedersinken läßt. Durch derartige Mittel ist der erwähnte Übelstand zwar in mehr oder weniger hohem Grade gemildert, aber nicht beseitigt, während anderseits der zuerst genannte Übelstand und die Schwere des Gatters nebst dem die Verbindung mit der treibenden Lenkstange vermittelnden langen Hebel eine geringere Schnittgeschwindigkeit oder kleine Hubhöhe und Umdrehungszahl der Kurbel bedingt.



87. Bandsäge (von Emil Offenbacher in Marktredwitz).

Man hat deshalb neuerdings Steinschneidemaschinen angewendet, bei welchen das bewegte Schleifwerkzeug durch Verbinden seiner Enden endlos gemacht ist. Die so entstehende Bandschneidemaschine benutzt ein flaches Band, welches, wie bei der bekannten Bandsäge über zwei Rollen gelegt ist. Abb. 37 stellt eine solche Bandsäge mit automatischem Vorschub dar, die mit vertikalem oder horizontalem Blatt arbeiten kann. Noch besser ist die Seilschneidemaschine. Sie bedient sich eines endlosen Stahldrahtes oder Drahtseiles, das nach verschiedenen Richtungen Biegungen zuläßt, über Rollen geführt wird und deshalb weitgehende Freiheiten in der Anwendung gewährt. Der Erfinder dieser Maschine ist der Franzose Violette. Da diese Maschinen kontinuierlich arbeiten und frei von den Massenwirkungen der Gattermaschinen sind, gestatten sie eine größere Schneidgeschwindigkeit und eine regelmäßige Zuführung des Werkstückes. Als Schneidmittel dient auch bei diesen Maschinen Sand und Wasser. Gay hat erst in den achtziger Jahren den ursprünglich verwendeten einfachen Draht mit Erfolg durch ein schwach gedrehtes, 3—7 mm dickes Seil aus drei Eisendrähten ersetzt. Die größere Schnittwirkung dieses Seiles wird dem Umstande zugeschrieben, daß der Sand durch die Furchen des Seiles besser gehalten wird, als durch die mehr oder weniger glatte Oberfläche des einfachen Drahtes.

Das Prinzip der Seilschneidemaschine ist kurz folgendes. Von zwei einander gegenüberstehenden und voneinander unabhängigen Gerüsten trägt das eine drei Spurscheiben, das andere nur eine Spurscheibe. Über diese Spurscheiben läuft der endlose Schneidedraht so, daß er durch die dritte, zu unterst angebrachte und verschiebbare Spurscheibe des einen Gerüstes beliebig straff gespannt werden kann. Die beiden Gerüste werden entsprechend der Länge des Drahtes voneinander entfernt. Die Länge des Seiles beträgt gewöhnlich 180—190 m, so daß es 20—25 m Schnitttiefe bis zu seinem Verschleiß zu erzeugen vermag. Die Versorgung der Maschine mit Sand und Wasser findet von der Eintrittsstelle des Seiles in den Steinblock statt. Der Steinblock befindet sich zwischen zwei Ständern, welche unterhalb mit Leitrollen für den Draht versehen sind, der durch diese Rollen eine horizontale Führung erhält. Durch diese Vorrichtung wird gleichzeitig der Stein von den Schwingungen des Motors isoliert. Der Druck auf den Schneidedraht wird durch Gegengewichte ausgeübt, die an den gleitbaren Lagern der Rollen hängen.

Ein Vorzug dieser Steinschneidemaschine liegt darin, daß sie in den Steinbrüchen direkt zum Abschneiden der Blöcke von den Bänken benutzt werden kann, indem man die Leitrollenführungen in vorher gebohrte Löcher in das Gestein einsenkt.

Die Leistungsfähigkeit der Drahtsägen soll ungefähr viermal so groß sein als die gewöhnlicher Schwertsägen.

Bearbeitung der Steinflächen. Wie bei der Herstellung der Steinblöcke in rohen Formen, hat man auch für die Bearbeitung der natürlichen Bruchflächen der Steine Handarbeit und mechanische Arbeit zu unterscheiden. Der Handarbeit vermögen gewisse Werkzeuge, die auch für die Holzbearbeitung Verwendung finden, wie bereits oben erwähnt, nur dann zu dienen, wenn es sich um sehr weiche Gesteine handelt. Diese kann man, wie mit der Säge, so auch mit Beil und Hobel bearbeiten. Von härteren Gesteinen dagegen lassen sich nur durch Absprengungen oder Abspalten Späne lösen. Zum Ablösen solcher Hartsteinsplitter bedarf es also eines mehr oder weniger kräftigen Stoßes auf diejenige Stelle, in welcher die zum Spalten erforderliche Spannung hervorzubringen ist. Solche Stöße mit der Hand auszuüben, bedarf es leicht zu handhabender Werkzeuge. So braucht man zum Absprengen größerer Stücke den Einspitz oder Schlagspitz, auch Spitzeisen genannt (Abb. 14), d. i. ein 24 cm langes Werkzeug von 1,5—2,5 cm Dicke, mit pyramidenförmiger Spitze aus zähem Stahl und so geformt, daß man es bequem mit der Hand halten kann. Der Einspitz wird auf den Stein aufgesetzt und mittels eines hölzernen oder eisernen 1,5—3,5 kg schweren Schlegels (Abb. 22 und 23) in den Stein eingetrieben. Weniger große Splitter werden mit der Zweispitze (Abb. 24 u. 25), abgespalten. Die wirksamen Spitzen dieser Werkzeuge sind ähnlich gestaltet wie diejenigen des Spitzeisens. Die Entfernung von Spitze zu Spitze beträgt 35—45 cm. Die Zweispitze wird mit beiden Händen geschwungen. Der Stoß kommt dadurch, daß die treibende Spitze mit dem Hammer verbunden ist, besser zur Geltung, als bei dem geschlagenen Werkzeug, allein die freigeschwungene Spitze kann nicht so sicher den richtigen Ort unter dem richtigen Winkel treffen, wie die vorher aufgesetzte. Die Zweispitze erfordert daher größere Geschicklichkeit, weil die Gefahr einer unrichtigen Spaltung naheliegt. Eine Abart der Zweispitze ist der Schrothammer (Abb. 26).

Will man den Schlag auf eine größere Spaltlänge verteilen, also noch feinere Splitter lösen, so gestaltet man das Werkzeug keilförmig, und man kommt dann der Gestalt der Fläche oder des Schellhammers (Abb. 8) nahe, eventuell wird die Fläche mit kleineren Zuschärfungswinkeln versehen, etwa wie Abb. 9 und auch Abb. 10 erkennen läßt. Demselben Zweck dient auch die Picke, ein Instrument ähnlich dem Zweispitz, den Abb. 24 darstellt, nur daß an Stelle einer Spitze oder beider Spitzen eine Schärfe angebracht ist, deren Kante quer gegen den Helm liegt. Der ziemlich kurze, etwa 30—45 cm lange Helm der Picke wird von dem Arbeiter so gehalten, daß er auf die Mitte des Körpers gerichtet ist. Die Anwendung der Picke ist eine sehr vielseitige, namentlich bei der Bearbeitung harter Steine; insbesondere dient sie auch zur Ausarbeitung der Furchen in Mühlsteinen.

Der genaueren Bearbeitung der Steinflächen dienen besondere geschlagene Werkzeuge, welche man allgemein mit dem Namen Schlageisen bezeichnet. Das Schlageisen im besonderen ist ein dem Spitzeisen ähnlich geformtes Werkzeug mit 2,5—5 cm breiter Schneide (Abb. 13). Dasselbe Werkzeug mit schmalerer, nur 1,5—2 cm breiter Schneide

heißt Beizeisen oder Locheisen (Abb. 12). Wird die Schneide breiter, etwa 6—9 cm, so erhält das Eisen spatenförmiges Aussehen und wird Breiteisen, auch wohl Scharriereisen genannt (Abb. 18, 20, 21). Abb. 19 stellt ein gezahntes Eisen dar, d. i. ein Schlageisen (Breiteisen), welches mit Einschnitten versehen ist, so daß zwischen zwei so gebildete Zähne die wirksame Kante fällt. Diese Zahnung soll verhindern, daß sich größere Spaltflächen bilden, die vielleicht tiefer eindringen, als beabsichtigt ist. In der Wirkung den gezahnten Eisen gleich ist der Zahnhammer oder Scharrierhammer (Abb. 10), der vielfach, wie die Abbildung zeigt, auf einer Seite als Schellhammer (Fläche) ausgebildet ist. Für noch feinere Bearbeitung der Steinflächen dient ferner das Kröneleisen oder das Einsatzkrönel (Abb. 27). Bei diesem sind in einem eisernen, mit Handgriffen versehenen Bügel eine Anzahl Stahlstäbchen mit je zwei Spitzen festgeklemmt.

Alle die genannten Werkzeuge sollen zum Absprengen mehr oder weniger großer Steinstücke dienen. Sie werden zu diesem Zwecke unter einem spitzen Winkel zu der zu bearbeitenden Steinfläche angewendet. Die Werkzeuge mit ununterbrochener Kante erzeugen eine wellige Fläche, bei der, wie bei einer Schraffur, eine Linie neben der anderen liegt; die gezahnten Kanten dagegen erzeugen gekörnte, ebener aussehende Flächen. Sehr harte Gesteine bedingen einen so großen Zuschärfungswinkel für die Schneidkanten der Werkzeuge, daß ihre spitzwinkelige Lage gegenüber der zu bearbeitenden Steinfläche unbequem wird. Man muß deshalb das Werkzeug senkrecht auf die Arbeitsfläche wirken lassen und einen Streifen nach dem anderen von der wegzunehmenden Steinschicht ablösen oder nur die unmittelbar vom Werkzeug getroffenen Gesteinteile zertrümmern. Letzterem Zwecke dient im wesentlichen der Kraushammer, auch Scharrier- oder Stockhammer genannt (Abb. 31—33), ein Hammer, dessen beide im ganzen ebene Bahnen mit zahlreichen pyramidenförmigen Erhöhungen versehen sind. Die Flächen der Pyramiden schließen an ihrer Spitze einen Winkel von etwa 90° ein.

Mit den aufgezählten und beschriebenen Werkzeugen lassen sich sowohl die Flächen der Hartgesteine wie die der Weichgesteine in jedem gewünschten Feinheitsgrade bearbeiten. Nun ist es aber nicht immer erwünscht, ebene und glatte Flächen an den Hausteinen zu haben, sondern zuweilen werden absichtlich Hausteine verwendet, welche nur an den Lager- und Stoßfugen sorgfältig, an den Häuptern, welche in der Fassade zum Vorschein kommen, aber nur roh bearbeitet (bossiert) sind. Solche Steine nennt man Bossenquader (Buckelsteine), und ihrer Erzeugung dient der Kipp- oder Bossierhammer (Abb. 28—30).

Wichtig für die Bearbeitung der Steinblöcke mit dem Handwerkszeug ist die Lagerung der Blöcke. Mit Rücksicht auf die vorwiegend benutzte Treffrichtung der Werkzeuge gegenüber der zu bearbeitenden Fläche ist die wagerechte Lage dieser Fläche die günstigste. Um den Block regelmäßig lagern zu können, ist es notwendig, ihm zunächst eine völlig ebene Fläche zu geben. Zu diesem Zwecke werden mittels des Schlageisens an zwei einander gegenüber liegenden Kanten der in Rede stehenden Fläche schmale Streifen, sogenannte Schläge, genau bearbeitet, deren Richtung man mit einem Lineal prüft. Hierauf legt man auf die Schläge zwei Richtscheite von genau gleicher Länge und Breite und prüft durch Absehen über die oberen Kanten der Richtscheite, ob diese, also auch die Schläge, in einer gemeinsamen Ebene liegen oder nicht. Liegen die Schläge windschief zu einander, was in der Regel der Fall sein wird, so wird mit dem Schlageisen nachgeholfen, bis die oberen Kanten der Richtscheite in gemeinsamer Ebene liegen. Mit Hilfe dieser beiden genau liegenden Schläge stellt man solche auch längs der beiden anderen Kanten der zu bearbeitenden Fläche her, wobei man prüft, ob, bezw. wo noch etwas hinweggenommen werden muß; dabei wird zuweilen die fühlende Kante des Richtscheites mit Farbe (Rötel) bestrichen, so daß, wenn man das Richtscheit leicht über die zu prüfenden Flächen verschiebt, die vorstehenden Stellen des Steines gefärbt werden. Auf diese Weise gewinnt man einen Rahmen für die richtige Gestalt der ersten Fläche, innerhalb dessen die Fläche selbst in der gewünschten Weise bearbeitet wird. Von der ersten Fläche aus, die zuweilen in dem durch die Schläge nur vorgezeichneten Zustande bleibt (z. B. beim Bossenquader), geht man unter Benutzung von Schmiege und Winkel, Zirkel, Taster u. s. w. zur Gestaltung

der übrigen Flächen des Werkstückes über, indem man eine Ecke des Schlageisens als Reißnadel zum Vorzeichnen bezw. Prüfen der Flächen benutzt.

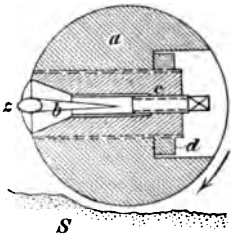
Bearbeitung der Steinflächen durch Maschinen. Bei der Konstruktion von Steinbearbeitungsmaschinen, die zur Erzeugung genauer Flächen an Hausteinen konstruiert worden sind, ist fast immer der Gedanke maßgebend gewesen, die Handarbeit des Steinmetzen, also die Handhabung der Picke und des Schlageisens nachzuahmen. Mancherlei nach dieser Richtung hin angestellte Versuche sind von geringem oder ungenügendem Erfolge gekrönt worden, aus naheliegenden Gründen. Für die erfolgreiche Thätigkeit einer Maschine ist es Bedingung, daß die Maschine erheblich mehr Arbeit in gleicher Zeit leistet, als der geschickteste fleißigste Arbeiter mit der Hand zu leisten vermag. Zu diesem Zweck muß die Maschine entweder eine größere Anzahl von Werkzeugen gleichzeitig bethätigen, oder sie muß das Werkzeug mit größerer Geschwindigkeit in Bewegung bringen, als es mit der Hand möglich ist. Das erstere findet bei der Steinbearbeitung Schwierigkeiten darin, daß bei der gleichzeitigen Bethätigung vieler Werkzeuge infolge ihrer nicht zu umgehenden verschiedenen Härtegrade und ihres Angriffes auf verschieden harte Stellen des Steines die einzelnen Teile des Werkzeuges ungleichmäßig abgenutzt werden. Dagegen hat das Werkzeug, welches den zweiten Gedanken verfolgt, schnell wiederholte Bewegungen auszuführen, in neuerer Zeit einige Erfolge gehabt. Es ist dies der sogenannte Luftdruckmeißel, eine kleine, dampfhammerartige, durch hochgespannte Luft betriebene Kolbenmaschine, die den Gesteinsbohrmaschinen mit Preßluftbetrieb nahe verwandt ist. Der durch die gepreßte Luft betriebene Kolben treibt direkt das Werkzeug, welches nach Art der Schlageisen geformt ist, vor und macht in der Minute 8000—15 000 Spiele, so daß dem Gehör nur ein schnurrendes Geräusch bemerkbar wird. Hieraus und aus dem Umstande, daß das Maschinchen von dem Arbeiter mit der Hand gegen den Stein geführt wird, ohne einen unregelmäßigen Druck ausüben zu müssen, da die Stöße durch die Masse des Maschinchens aufgenommen werden, geht die Überlegenheit des Apparates in seiner Leistungsfähigkeit für gewisse Arbeiten gegenüber der Handarbeit hervor.

In anderer Hinsicht scheint die Nachahmung der Handarbeit durch mechanische Vorrichtungen nicht zweckmäßig. Ein geschickter Steinmetz wird bei seiner Arbeit die Stärke und den Winkel des Schlages entsprechend dem Härtegrade und der Beschaffenheit des zu bearbeitenden Steines an dessen verschiedenen Stellen zweckmäßig ändern und überhaupt die Schläge mit einer gewissen Elastizität ausführen. Der Steinmetz wird somit bei der Handarbeit an den weichen Stellen des Steines größere Stücke losbrechen als an den harten Stellen, um seine Arbeit nach Möglichkeit zu fördern. Nun arbeitet zwar beispielsweise der Luftdruckmeißel mit viel weniger heftigen Stößen als die Hand, so daß die Gefahr eines unbeabsichtigten Absplitterns des Gesteins nur gering ist, aber die Stärke und die Richtung des von der Maschine ausgeübten Schlages läßt sich nicht, oder nur schwer genau der Beschaffenheit des Steines anpassen, weil hierzu der praktische Blick und das durch Übung geschärfte Gefühl einer sachverständigen Persönlichkeit, kurz eine Art geistiger Thätigkeit notwendig ist, welche die Maschine niemals ersetzen kann. Wenn anderseits eine Anzahl Meißel gleichzeitig auf mechanische Weise zur Wirkung gebracht werden, so stellt sich infolge der ungleichmäßigen Abnutzung der Übelstand des oft wiederholten Schärfens der einzelnen Werkzeuge der Förderung der Arbeit störend in den Weg; hierdurch wird ein oft wiederholtes Anhalten der Maschine notwendig, welches deren Leistung naturgemäß erheblich verringert. Der geschickte Steinmetz kann im Gegensatz hierzu die Schärfe seines Werkzeuges durch entsprechende Führung viel nachhaltiger ausnutzen.

Was hier von den Maschinen mit stoßendem Werkzeug gesagt wurde, gilt mehr oder minder auch für die zur Gestaltung der Steine vorgeschlagenen Maschinen, welche nach Art der Metallhobelmaschinen durch Loslösen eines gleichmäßigen Spanes wirken sollen. Gegen diese Wirkungsweise spricht die Eigenart der Steine. Die einzelnen Späne lösen sich wegen ihrer Sprödigkeit in muscheligen oder schieferigen Bruchflächen ab, so daß durch die vorspringenden Kanten der gebildeten Flächen der fortschreitende Stichel sehr stark abgenutzt wird; außerdem weicht die entstehende Fläche, wegen der Härte des Steines,

dem Stichel nicht in dem Maße aus, wie die Abrundung der Schneide des Stichels dieses verlangt. Ein derartiges Arbeitsverfahren kann daher nur bei hervorragend weichen Gesteinen oder in besonderen Fällen (beim Abdrehen) mit Vorteil Verwendung finden. Zumeist haben die zum Abrichten und Hobeln der Steine benutzten Werkzeuge ähnlich den Fräsen eine rotierende Bewegung, und es werden daher messerartig wirkende Klingen, sowie gezahnte Scheiben und an dem Trommelumfange eingesetzte Picken und Meißel benutzt. Schnell arbeitende Messer oder Klinken sind zum Abrichten von Steinflächen nicht zu empfehlen, wenn man nicht Sorge trägt, daß ihr Eingriff mit einer rotierenden Bewegung erfolgt, wodurch die infolge der sonst quetschenden und zermalmenden Wirkung herbeigeführte Abnutzung sich vermindert.

Im allgemeinen kann man sagen, daß alle zum Abrichten von Steinblöcken benutzten Werkzeuge, welche größere Stücke ohne Zerbröckelung losreißen, oder welche, weil keine zermalmende Wirkung beim Eingriff der Schneiden stattfindet, den wenigsten Staub erzeugen, den Vorzug vor solchen Werkzeugen verdienen, welche das Gegenteil thun, d. h. welche viel Staub erzeugen, indem sie sich durch schädliche Reibung am Stein abnutzen. Weiter ist es bei der Bearbeitung der Steine von größter Wichtigkeit, daß die Schneidwerkzeuge der Beschaffenheit der Steine entsprechend geformt und gehärtet sind. Manche Steine z. B. erfordern das Wegnehmen oder Lostrennen größerer Bruchstücke, während andere nur geschabt werden müssen. In allen Fällen sucht man zu vermeiden, die Steinbearbeitungsmaschinen mit vielen gleichzeitig oder unmittelbar nacheinander angreifenden Werkzeugen auszurüsten, weil es praktisch unmöglich ist, dieselben sämtlich mit gleichmäßiger Abnutzung zur Wirkung kommen zu lassen. Selbstverständlich ist eine weitere Bedingung für eine erfolgreiche Thätigkeit der Steinbearbeitungsmaschinen die entsprechende Härte des Werkzeuges, zu dem man fast ausschließlich Hartguß und Stahl verwendet, wenn nicht auch hier Diamanten zur Anwendung kommen.



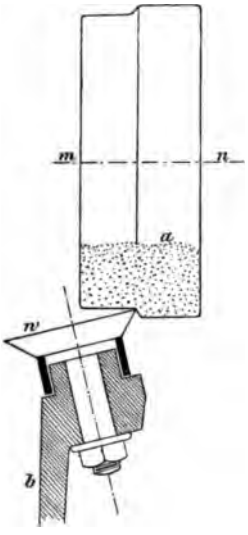
38. Fräskopf.

Bei den meisten Hobel- und Abrichtmaschinen für Steinbearbeitung wird der Stein mit Werkzeugen bearbeitet, welche einen festen Halter besitzen, während der Tisch, worauf der Stein befestigt ist, ähnlich dem einer gewöhnlichen Eisenhobelmaschine unter dem Werkzeug hinwegbewegt wird. Das eine System beruht auf der Anordnung einer Reihe von Werkzeugen auf einem hohlen, rotierenden Cylinder, welcher in der Nähe jedes Werkzeuges mit einem kleinen Loche versehen ist, durch das vermittelst eines Röhrchens auf den Punkt, an welchem das Werkzeug angreift, Wasser geführt wird. Bei dem anderen System sind die Schneidwerkzeuge an einem rotierenden Rade befestigt und wirken auf die Fläche des Steines, welcher auf einem hin- und herbewegten Tische befestigt ist, dessen Bewegung ein Zahnstangengetriebe bewirkt. Das Werkzeug ist hier nach Art eines Fräskopfes gestaltet, wie Abb. 38 zeigt. Gibt man dem Fräskopf eine solche Drehrichtung, daß der wirkende Zahn zunächst die Wurzel des abzunehmenden Spanes trifft (wie die Kante des Schlageisens), und einen kleinen Durchmesser, so gelingt das Absprengen des Spanes zumeist gut, und der Zahn trifft erst dann wieder auf den Stein, wenn er aufs neue wirken kann. Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist daher der Natur der Steine angemessen. In Abb. 38 ist der schneidende Diamant z in einem kleinen Zahn b eingeklemmt, dessen Maul durch Anziehen der mit ihm verbundenen Schraube geschlossen wird. Die Hülse c der Zähne ist außen mit Schraubengewinde versehen, vermöge dessen sie in der Welle a befestigt wird. Die Gegenmutter d verhütet willkürliche Lockerung. Der Zahn z dreht sich in einem Bogen von 3 cm Halbmesser in der Minute 3500 mal, während er mit seiner Welle a über die Fläche des Steines S langsam fortbewegt wird. Wegen ihrer Kleinheit eignen sich solche Diamantfräsköpfe nur zum Abheben dünner Schichten, also zum Erzeugen genauer Flächen.

Eine andere Art des Angriffs auf den Stein übt die Sprengscheibe aus, welche namentlich für die Erzeugung größerer Flächen in Frage kommt. Bei dieser Maschine rollt der kantige Rand einer Stahlscheibe am Fuße der abzusprengenden Schicht unter

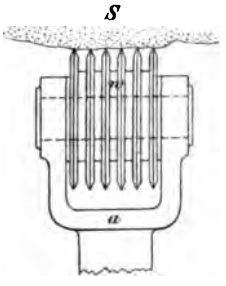
entsprechendem Druck entlang. Es wird somit das Gleiten und die damit verbundene starke Abnutzung mit Erfolg umgangen. Im wesentlichen bestehen diese Maschinen also aus Stahlscheiben von etwa 25 cm Durchmesser bei 2 cm Dicke, die beiderseits zugeschrägt sind, um eine scharfe Kante zu bilden. Die Stahlscheiben sind um etwa 45° gegen die Normale nach aufwärts gerichtet, an festen Achsen angebracht und können sich in ihren Lagern frei drehen, sobald ihre Schneide gegen den Stein trifft. Der zu bearbeitende Stein ist auf einem hin- und hergehenden Bett befestigt. Die Schneidwerkzeuge schlagen schräg gegen die Oberfläche des Steines, wenn sie an dem rotierenden Arm herumgeführt werden und drehen sich gleichzeitig um ihre Achsen, wobei sie bei jedem Schnitt die hervorragenden Teile des Steines abspalten.

Zum Erzeugen sogenannter Drehflächen, also Formen, welche die Drehbank liefert, verwendet man ebenfalls mit Erfolg die Sprengscheibe. Hierbei dreht sich das Werkstück wie bei jeder gewöhnlichen Drehbank um seine Achse, während die Sprengscheibe auf einem am Bett der Drehbank verschiebbaren Schlitten gelagert ist. So werden z. B. Schleifsteine häufig mit der Sprengscheibe abgedreht. Der Schleifstein a in Abb. 39, welcher um seine Achse m n rotiert, wird von der Seite her durch die Sprengscheibe w, welche in dem Schlitten b gelagert ist, angegriffen. Dadurch, daß man den Schlitten b mittels einer Führung parallel der Achse m n langsam von links nach rechts verschiebt, wird die Schleiffläche des Schleifsteines eben abgedreht.

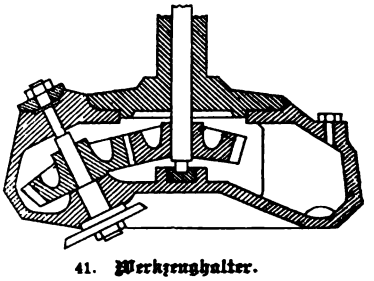


89. Sprengscheibe.

Demselben Zweck kann die Sprengscheibe auch in anderer Gestalt dienen. Indem man nämlich die rotierende Stahlscheibe mit keilförmigem Rande, welche sich um ihre zur Werkstückfläche parallele Achse frei zu drehen vermag, fest gegen den Stein drückt und sie



40. Sprengscheiben.


41. Werkzeughalter.

über diesen hinwegrollt, wird ein Streifen vom Stein abgesprengt. Abb. 40 stellt ein auf diesem Vorgange beruhendes Handwerkszeug zum Abdrehen der Schleifsteine dar. S ist der Stein, w eine Rolle, auf welcher mehrere Sprengscheiben sitzen, und a ist die mit Handhabe versehene Lagerung der Sprengscheiben, die man auf dem Rande des Schleifsteintroges verschiebt.

Für andere Zwecke gibt man dem Werkzeughalter andere Formen, von denen Abb. 41 eine gebräuchliche darstellt. Bei Anwendung dieser Halter wird der Stein gegen die rotierenden Schneidscheiben bewegt. Die Achse des Werkzeughalters erhält eine geringe Neigung gegen die Steinfläche, damit zunächst nur das vordere Werkzeug in Thätigkeit kommt. Diese Neigung des Halters ist so gering, daß die Steinfläche nur wenig von dem Werkzeug getroffen wird. Richtet man den Apparat so ein, daß die Achse des Werkzeughalters nach beiden Richtungen der Steinbewegung eingestellt werden kann, so kann man die Werkzeuge bei Her- und Hingang des Steines arbeiten lassen. Bei diesen rotierenden Schneidrollen sind die Scheiben derartig angeordnet, daß sie den Stein in verschiedenen Horizontalebenen angreifen, so zwar, daß die oberste Scheibe die stärkste Schicht und die unterste die schwächste Schicht wegnimmt. Demzufolge leistet die oberste Scheibe die Vorarbeit und die unterste die Feinarbeit. Damit wird erreicht, daß man eine verhältnismäßig dicke Steinschicht mit einem Durchgang bearbeiten kann und ein im gewöhnlichen

Zustande roh aus dem Bruch kommender Stein sich in einem Arbeitsgang sehr fein bearbeiten läßt.

Drehflächen von reicherer Gliederung schließen sowohl die Anwendung der Sprengscheibe als auch des Fräskopfes aus. Während der Einzelstichel dem Verlauf solcher Flächen frei zu folgen vermag, so daß seine starke Abnutzung nicht schädlich wirkt, ist es schwierig, den Werkzeughalter mit der Sprengscheibe oder dem Fräskopf scharf geschwungenen Kurven nachzuführen. Deshalb verwendet man überall da, wo es sich um die Verarbeitung weicher Gesteine, z. B. Alabaster, Serpentin, Sandstein, Marmor u. s. w. zu Drehkörpern handelt, mit Vorliebe den einfachen Stichel, den man freihändig, selbstverständlich unter Benutzung einer Vorlage, und bei wiederholtem Wechsel der Lage den Drehkurven nachführt.

Cylinderförmige Körper kann man außer auf der Drehbank auch auf der Bohrmaschine erzeugen und zwar unter Verwendung eines cylinderförmigen hohlen Werkzeuges, welches Kronenbohrer genannt wird. Dieser Bohrer besteht aus einer eisernen, an einem Ende gehärteten Röhre, deren Stahlrand sägezahnartig eingekerbt ist und welche unter sanftem Druck auf dem Stein gedreht wird, wobei die Zähne eine rinnenförmige Höhlung schneiden, innerhalb deren ein cylindrischer Kern stehen bleibt. Man kann dieses Werkzeug also, indem man den stehenbleibenden Zapfen in Stücken oder im Ganzen herausbricht, sowohl zur Herstellung von cylinderförmigen Vertiefungen und Löchern in Steinen benutzen, als auch um cylinderförmige Stäbe aus einem vollen Steinblock herauszubohren. Das Verfahren wird z. B. benutzt, um Figuren, die als Laternenträger oder Wasserspeier dienen sollen, zur Aufnahme der Leitungsröhren zu durchbohren. Es gelingt auf diese Weise, aus Sandstein oder Marmor Stäbe von wenigen Zentimeter Durchmesser bis zu 3 m Länge herauszubohren, die übrigens beweisen, daß selbst ein anscheinend spröder Stein noch eine bemerkenswerte Elastizität aufweist. Für sehr harte Steine wird der Rand des Kronenbohrers mit Diamanten besetzt, die abwechselnd nach außen und nach innen gekehrt sind.

Über die Gesteinbohrmaschinen im allgemeinen ist an anderer Stelle schon gesprochen worden. Es wurde auch bereits erwähnt, daß sowohl für die Abkühlung des Werkzeuges als für die Entfernung des Staubes und namentlich der in dem Staub enthaltenen feinen zackigen Metallteile, welche der Werkzeugabnutzung entstammen, mit Vorteil den Maschinen an der Schneidstelle reichlich Wasser zugeführt wird. Namentlich bei den leistungsfähigen Bohrmaschinen sucht man einen regelmäßigen Wasserdurchfluß zu erreichen, indem man z. B. in das Innere der hohlen Bohrwerkzeuge Wasser eindrückt, welches an der Außenfläche mit dem Bohrschmand beladen abfließt.

Feinbearbeitung der Steinflächen. Die mittels Hand- oder Maschinenarbeit immer noch roh bearbeitete Steinfläche bedarf für gewisse Zwecke noch einer feineren Nacharbeitung, um sie völlig zu ebenen oder gar mit Politur zu versehen. Beides wird durch Schleifen erreicht.

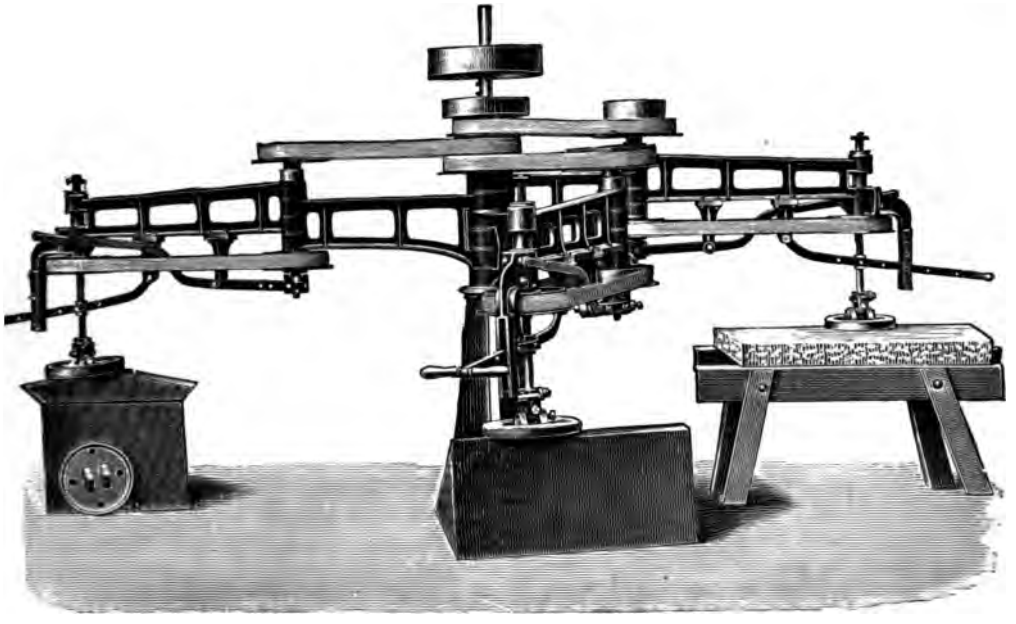
Das grobe Schleifen dient häufig auch der Gestaltung der feinen Oberfläche, indem durch Schleifen größere Mengen des Materials vom Werkstück abgenommen werden. Hier ist also die Aufgabe des Schleifens dieselbe, wie sie von der Säge oder dem Hobel erfüllt wird. Im allgemeinen dienen zum Grobschleifen aus Sandstein hergestellte Schleifsteine, zuweilen auch Granit und andere Steine. Ihre schleifenden Flächen werden von vornherein so zugerichtet, daß sie sich der Gestalt der zu bearbeitenden Steinoberfläche möglichst anschmiegen. Die Schleifsteine werden freihändig oder maschinell unter entsprechendem Druck an dem Stein hin- und hergeführt oder als Drehstein benutzt, gegen welchen man die zu schleifenden Gegenstände drückt. Sehr oft fehlt es den natürlichen Schleifsteinen an Härte und Schärfe des Kornes, vorzugsweise aber an Gleichartigkeit des Materials, so daß die Wirkung eine zu schwache, oder die Abnutzung eine ungleichmäßige ist. Man hat deshalb künstliche Schleifsteine aus Gesteinstrümmern zusammengesetzt, wobei man vorwiegend den sehr harten Schmirgel und neuerdings ein künstlich hergestelltes hartes Material, „Karborundum“, benutzt. Solche künstlichen Schleifsteine arbeiten mit 14 bis 20 m Umfangsgeschwindigkeit in der Sekunde im allgemeinen so, daß der zu bearbeitende Stein tangential zu den Schleifscheiben verschoben wird.

Aber auch ohne daß man die Gesteinstrümmer in feste Verbindung miteinander bringt, wie bei den Schmirgel- und Karborundumscheiben, werden sie zum Schleifen verwendet. Namentlich benutzt man zur Erzeugung ebener Flächen scharfen Quarzsand und Schmirgel in Pulverform. Dabei wird entweder die schleifende Fläche, die das Schleifpulver bewegt, in festen Bahnen z. B. um eine zu ihr senkrechte Achse gedreht, oder geradlinig hin- und hergeschoben, während die zu bearbeitende Fläche an ihr entlang geführt bezw. ihr genähert wird; oder es drückt die eine auf die andere, so daß die Führung unter Beihilfe der in Umgestaltung begriffenen Fläche stattfindet. Im ersteren Falle wird die schleifende Fläche aus recht weichem Stoff, z. B. weichem Holz, Blei und Zinn, Kupfer und Gußeisen hergestellt, damit sie sich wenig abnutzt. Der Abführung des abgeschliffenen Pulvers und seiner Fernhaltung von der Maschine muß dabei möglichst weitgehende Sorgfalt gewidmet werden, damit die Maschinenteile nicht zu schnell abgenutzt werden. Im anderen Falle verwendet man mit Vorliebe die weicheren Schleifflächen, um an Kosten für ihre Erneuerung zu sparen. Bekanntlich läßt sich eine Ebene durch Schleifen am vollkommensten herstellen, wenn die wagerechte zu schleifende und die Werkzeugfläche um senkrechte Achsen kreisen, welche nicht zusammenfallen. Demgemäß sind die Schleif- wie die Poliermaschinen meistens wagerecht rotierende Scheiben aus Stahl oder Gußeisen, oder aus einem System konzentrischer Stahlreifen zusammengesetzt, die auf der zu schleifenden Steinfläche, unter Zufluß von Schleifmasse und Wasser arbeiten. Entweder wird der Stein auf die große, etwas excentrisch rotierende horizontale Schleifscheibe gelegt und langsam hin und her bewegt, oder die Schleifscheibe arbeitet senkrecht, und der Stein wird unter bestimmtem Druck automatisch hin- und hergeführt. Endlich, und dies ist insbesondere bei den Maschinen der Fall, die gleichzeitig zum Polieren dienen, arbeiten die Schleifscheiben wagerecht auf der Oberfläche des Steines unter gemeinsamer Drehung und Hin- und Herbewegung. Eine gebräuchliche Konstruktion einer solchen Maschine zeigt Abb. 42. Die dargestellte Maschine ist ein dreifacher gelenkiger Schleif- und Polierapparat mit gemeinsamem Antrieb und Ausrückungs-Kuppelungen für jeden Arm.

Sandstein- und Marmorplatten, die als Fußbodenbelag verwendet werden sollen und in quadratischer oder ähnlicher Form zugehauen sind, werden ebenfalls durch Schleifen, aber in anderer Weise, auf der Oberfläche geebnet. Die an den Rändern grob behauenen Platten werden zu einem Kreise zusammengelegt und auf einer rotierenden Scheibe, die bis zu 8 m Durchmesser hat, in der einfachsten Weise dadurch befestigt, daß man die Platten in Sand einlegt. Über diese Scheiben dreht sich um eine vertikale Achse ein Rad, dessen zahlreiche Speichen so angeordnet sind, daß jede Speiche eine auf die eingebetteten Platten gelegte Platte im Kreise mit sich zu nehmen vermag. Zwischen beide aufeinander gleitenden Platten wird Sand und Wasser geführt. Da nun bei dem Vorwärtsschreiten jede der oben liegenden Platten mit jeder der unten ruhenden in Berührung tritt, so schleifen sich die Flächen gegenseitig ab; damit dies gleichmäßig geschieht, dreht man die obere Platte nach einiger Zeit um 90° oder auch öfter um einen kleineren Winkel. Da die Zahl der oberen Platten kleiner als die der unteren ist, die möglichst einen geschlossenen Kranz bilden, so werden erstere langsamer abgeschliffen als letztere, deshalb müssen die oberen Platten öfter durch neue ersetzt werden, als die unteren.

Zum Schleifen feiner Säulen oder anderer Rundkörper auf der Drehbank verwendet man vorwiegend Handarbeit. Das bereits vorgearbeitete Werkstück wird an beiden Endflächen mit einem eisernen Körnerfutter versehen, mit dessen Hilfe es zwischen die Drehbankspitzen gelagert wird. Diese Körnerfutter sind außen vierkantig, werden in entsprechende Vertiefungen der Säulenendflächen gelegt und dort, nachdem sie genau ausgerichtet worden sind, mit einer leicht schmelzbaren Metallegierung vergossen. In der Mitte sind die Körnerfutter völlig durchbohrt und mit Metallgewinde versehen, so daß man sie durch gewaltsames Einbringen eines Schraubenbolzens nach Vollendung der Arbeit vom Stein wieder entfernen und neu verwenden kann. Das eine Körnerfutter, welches der Drehbankspindel zugekehrt ist, dient gleichzeitig als Mitnehmer in der Weise, daß die zugehörige Spitze pyramidenförmig gestaltet ist und in eine Hohlpyramide des Körnerfutters greift. Das abgedrehte Werkstück wird nun durch Schleifen derartig weiter

bearbeitet, daß die gußeisernen Schleifklötze auf den Rotationskörper so gelegt werden, daß sie ihn auf $^1/_4$ bis $^1/_3$ des Umfanges berühren. Die Schleifklötze müssen etwa 8 cm breit und der Form des Werkstückes entsprechend hohl gestaltet sein. Sie liegen dicht nebeneinander auf dem Werkstück, stützen sich auf Ständer, die hinter der Drehbank angebracht sind, oder wirken auch nur durch ihr eigenes Gewicht. Bei großen Werkstücken, z. B. Säulen von 1 m Durchmesser und mehr, müssen die Schleifklötze mit starkem Druck angepreßt werden; während sich die Säule mit etwa 1,2 m Umfangsgeschwindigkeit in der Sekunde dreht, gibt der die Maschine bedienende Arbeiter Sand und Wasser auf, bis alle Unebenheiten der Säulenoberfläche geschwunden sind, und verschiebt dann von Zeit zu Zeit die Schleifklötze an der Säule entlang, um ein ungleiches Ausschleifen zu verhüten. Der Sand wird in einem Becken unterhalb der Säule wieder aufgefangen. Die fernere Bearbeitung der Oberfläche erfolgt dann mit Schmirgel, der immer wieder benutzt wird, so daß auf diese Weise von selbst eine fortschreitende Verfeinerung des Schleifmaterials und somit der Schleiffläche entsteht. Weiche Gesteine, z. B. Alabaster, werden naß mit Bimsstein



42. Schleif- und Polliermaschine.

oder trocken mit Glaspapier geschliffen. Für Thonschiefer verwendet man nassen Bimsstein, für Serpentin nassen, feinen Sandstein und für Marmor, dessen Schönheit leicht durch andere Schleifmittel leidet, gestoßenen Marmor.

Polieren. Durch das Schleifen, wie es in dem vorigen Abschnitt beschrieben wurde, kann naturgemäß die Oberfläche nur bis zu einem gewissen Grade geebnet werden, der für manche Zwecke ausreicht. Der Stein erhält also eine mäßig rauhe bis matte Oberfläche, und hierdurch ist auch bei vielen Steinen, z. B. bei Sandstein, das Maximum der Bearbeitungsfähigkeit erreicht. Anderen Gesteinen dagegen, z. B. Granit, Marmor u. s. w., wünscht man zuweilen hohen Glanz zu verleihen, zu welchem Zwecke man sie polieren muß. Das geschieht mittels weicher Schleifpulver oder Metalloxyde, z. B. verwendet man für Gips und Alabaster gelöschten Kalk mit Seifenwasser, oder Milch, Seife und Schlämmkreide; für Marmor nimmt man Zinnasche oder Knochenasche, für Granit und Porphyr meistens Kolkothar mit Wasser. Die Poliermittel werden mittels weicher Flächen, z. B. weichem Holz, Leder oder Lappen, über die Werkstücke geführt.

Will man die zu polierende Fläche gleichzeitig färben, so muß der entsprechende Farbstoff oder die Farbflüssigkeit nach dem Schleifen, aber vor dem Polieren aufgetragen

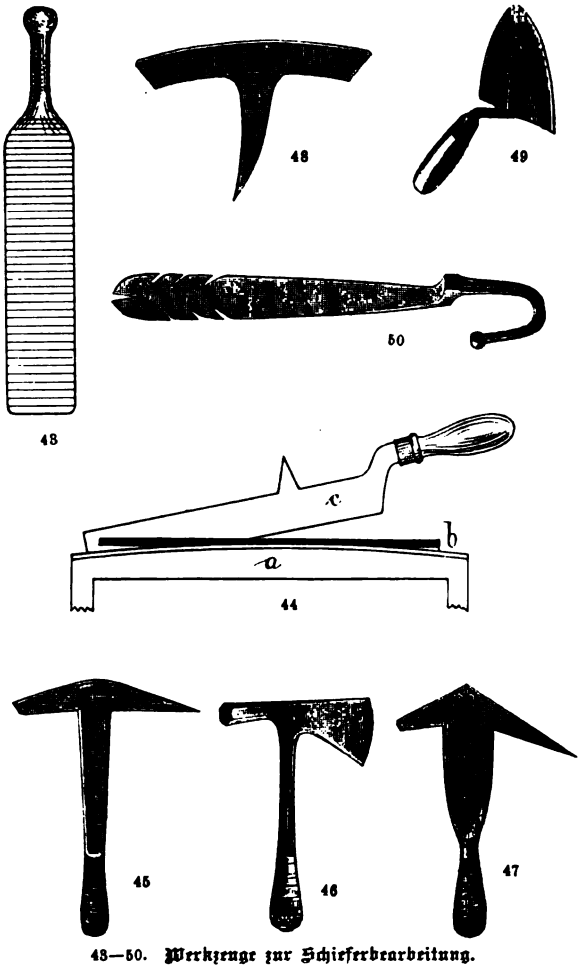
werden. Gips, Alabaster und Marmor färbt man mit Hilfe von Metallsalzlösungen oder Pflanzenauszügen, die mit Weingeist oder ätherischen Ölen bereitet sind, z. B. färbt Eisenvitriol gelb, Kupfervitriol grün. An Pflanzenextrakten kommen zur Verwendung Gummigutt, Kurkumawurzel, Drachenblut, Alkannawurzel, Brasilienholz u. s. w. Das Eindringen der Farbe wird durch Erwärmen des Steines befördert. Feldspatreiche Gesteine, z. B. Granit, der viele große weiche Feldspatkrystalle enthält, können durch Färben sehr verschönert werden, weil der Feldspat die Farben gut aufnimmt. Man färbt purpurrot mit Goldlösung, grün mit Lösung von Grünspan in Ammoniak, gelb mit chromsaurem Kali u. s. w.

Mattieren und Ätzen. Zuweilen ist es erwünscht, an Stelle einer glatten, glänzenden Oberfläche eine matte Fläche zu erzeugen, welche die härteren Materialtrümmer des Gesteines in körniger Beschaffenheit vor den weicheren hervortreten läßt. Namentlich ist dieses Mittel zur Unterbrechung glatt polierter Flächen oder zur Eingravierung von Schriftzeichen beliebt. Für diesen Zweck verwendet man als Bearbeitungsmittel vorteilhaft das Sandstrahlgebläse, dessen Entdeckung einem Amerikaner Tilghman zugeschrieben wird, der zuerst nachwies, daß ein Strahl von Quarzsand, der gegen einen Block von festem Korund gerichtet wurde, durch diesen in 25 Minuten ein Loch von 36 mm Durchmesser bohrte. Wenn man in Betracht zieht, daß der Korund der Härte nach der dem Diamant zunächststehende Körper ist und sich in der Härte nur wenig von diesem unterscheidet, so ist dies in der That ein bemerkenswertes Resultat. Merkwürdig ist, daß schon durch verhältnismäßig dünne, aber weiche, nachgiebige Überzüge die Wirkung der Sandkörner auf den Stein vernichtet werden kann. Die wahrscheinliche Erklärung für diese Wirkung ist die, daß jedes Sandkörnchen, welches die Fläche des zu bearbeitenden Materials mit seiner scharfen Ecke trifft, einen unendlich kleinen Teil derselben pulverisiert, welcher als Staub mit fortgeblasen wird, während die Sandkörner, welche den feinen Schutzüberzug treffen, von diesem zurückprallen. So erscheint z. B. die dünne Gelatinehaut, welche man zur Herstellung photographischer Negative verwendet, genügend dick, um durch mittels sanften Luftstromes angeworfenen feinen Sand Bilder in Glas einzugravieren. Zum Schneiden in Stein braucht man allerdings eine größere Kraft, die zumeist ein Dampfstrahl liefert. Wasserdampf von ungefähr sieben Atmosphären wird durch ein zentral um ein Strahlrohr angebrachtes Eisenrohr von etwa 5 mm Weite eingeführt, so daß der Dampfstrahl ringförmig die Mündung verläßt. Hierbei wird durch das innere Sandrohr etwas Luft eingesaugt, welche den Sand dem Dampf entgegentreibt, und der Dampfsandstrahl wird nun durch ein Rohr von ungefähr 15 cm Länge geführt, wobei der Dampf dem Sande seine Geschwindigkeit mitteilt und ihn gegen die zu bearbeitende Steinfläche wirft, welche in etwa 2,5 cm Entfernung vom Ende des Rohres sich bewegt. An der getroffenen Stelle macht sich hierbei ein roter Lichtschein bemerkbar, der die Täuschung hervorruft, als wenn der Stein rotglühend wäre, obgleich dessen Wärme 100° C. nicht übersteigt. Wahrscheinlich wird dieser Lichtschein durch die Zertrümmerung der Krystalle des Steines und Sandes hervorgerufen. Um nun ein Ornament oder eine erhabene Inschrift auf einer ebenen Steinfläche einzuschneiden, bringt man zumeist eine Schablone aus Eisenguß oder Kautschuk auf den Stein und richtet den Sandstrahl gegen die Stellen des Steines, welche bearbeitet werden sollen. Der Stein wird dabei auf einen Wagen oder Schlitten gelegt, welcher langsam in rechtwinkeliger Richtung zur Bewegung des Sandstrahles geführt wird, so daß jede Stelle, welche die eiserne Schablone für den Sandstrahl frei läßt, von ihm getroffen werden muß. Wie leicht einzusehen ist, kann man mit Hilfe des Sandstrahlgebläses sowohl tiefe wie flache Gravierungen auf jedem beliebigen Stein anbringen.

Handelt es sich nun darum, auf einer glänzenden Fläche nur einzelne matte Stellen zu erzeugen, so kann man sich zu diesem Zwecke auch des Ätzens bedienen. Man überzieht dann die wagerecht liegende Steinfläche mit Ätzgrund, der z. B. aus 2 Teilen reinem Wachs, 2 Teilen Mastixkörnern und 1 Teil Asphalt besteht und warm aufgetragen wird. Diesen Ätzgrund umgibt man mit einem erhöhten Rand und gräbt in ihn die hervorzubringende Zeichnung bis auf die blanke Steinfläche ein, die dann je nach der Art des Materials mit Flußsäure oder verdünnter Salpetersäure geätzt wird.

Dachschiefer.

Die eigentümliche Struktur des Schiefers bedingt eine von der Bearbeitung anderer Gesteine stark abweichende Behandlung des Schiefers bei dessen Verwertung. Die blättrige Struktur erleichtert die Zerteilung in dünne Platten, wie sie für Schiefertafeln und für Dachplatten vorwiegend Verwendung finden. Das im Steinbruche durch Sprengarbeit in unregelmäßigen, oder mit Keilen in regelmäßigen größeren oder kleineren Blöcken gewonnene Gestein wird mit Keilen weiter gespalten, nachdem die Blöcke zuweilen schon vorher durch Behauen oder Sägen rechtwinkelig zugerichtet worden sind. Manche Schiefersorten lassen sich im bruchfeuchten, andere im trockenen Zustande leichter spalten.



43—50. Werkzeuge zur Schieferbearbeitung.

Zum Loslösen dünner Platten bedient man sich des sogenannten Spalteisens (Abb. 43), einer etwa 6 cm breiten und 20 cm langen dünnen und elastischen Klinge mit Handgriff. Zum Spalten sehr großer Platten werden größere, für kleinere Platten kürzere Eisen verwendet. Beim Spalten wird die dicke Schieferplatte so aufgestellt, daß die Blätterlagen fast senkrecht stehen, wobei der Arbeiter das Spalteisen an der gehörigen Stelle aufsetzt und es mit einem Hammer 2—3 cm tief in das Gestein eintreibt. Durch Hin- und Herbewegen des federnden Spalteisens wird die weitere Trennung der Schieferplatten bewirkt. Bei Platten von geringerer Breite und Länge ist nur einmaliger Aufsatz des Spalteisens in der Mitte der Platte nötig, da die weitere Trennung der Schieferplatten durch die geschilderte Bewegung des Spalteisens nur mit der Hand oder unter Mitwirkung schwacher Hammerschläge leicht zu bewerkstelligen ist. Bei Platten von größeren Abmessungen muß dagegen das Spalteisen an verschiedenen Stellen aufgesetzt und zwischen die zu trennenden Platten hineingetrieben werden, wobei es am zweckmäßigsten ist, die Länge an Stelle der Breite nach oben zu nehmen und von der letzteren aus die Spaltung zu bewerkstelligen. Bei sehr großen Tafeln muß man die Spaltung von allen vier Seiten gleichzeitig vornehmen.

Hat man auf diese Weise Platten von 3—7 cm Dicke erzielt, was immer schwieriger wird, je dünner die Platten werden, so müssen die sowohl nach Länge wie Breite sehr unregelmäßigen Platten beschnitten werden. Das geschieht bei dicken Platten, wie sie beispielsweise für Tischplatten, Wandbekleidungen u. s. w. erzeugt werden, mittels der Säge und bei dünnen, die zur Dachdeckung bestimmt sind, mittels Abscherens. Dabei wird die Schieferplatte auf die Kante eines Scherbrettes gelegt und dann ein zweites Scherbrett

an der entgegengesetzten Seite durch Schlag so zur Wirkung gebracht, daß nur die unmittelbar getroffenen Teile Zeit zum Abspalten finden. Ruhiger Druck würde eine weitgehende Zersplitterung der Platte herbeiführen. Das Scherbrett (Haueisen) Abb. 44, besteht aus einer mäßig gebogenen Stahlschiene a, welche entweder, wie die Abbildung andeutet, mit zwei Schenkeln auf der Werkbahn befestigt ist, oder nur mit einer von der Mitte ausgehenden pyramidenartigen Spitze. Man legt die Schieferplatten b auf das Haueisen und schlägt dann mit der etwa 35 cm langen Schere c das Überstehende nach und nach ab. Die oben liegende Seite des Schiefers erhält hierdurch einen scharfkantigen Rand, auf der unteren Seite finden jedoch Absplitterungen statt, welche den Rand abschrägen. Der Rücken der Schere c enthält eine Spitze, mittels welcher die zum Aufnageln der Schieferplatte auf der Dachverschalung dienenden Löcher erzeugt werden.

In Deutschland findet das Behauen der Schieferplatten auf dem Bau vielfach mittels des Deckhammers statt, von dem 3 Typen in Abb. 45—47 dargestellt sind; Abb. 46 ist das Pariser Modell, Abb. 47 das Berliner Modell. Bei den Abbildungen der deutschen Hämmer Abb. 45 und 47 ist ersichtlich, daß der mittlere Teil des Hammers einen zugeschärften Rand enthält, welcher auf dem Dache als Schere zu dienen vermag. Der kleine Ambos Abb. 48, Schieferdeckerbrücke genannt, dient dann als Haueisen. Der Kopf des Deckhammers läuft einerseits zu einer Spitze aus, mittels welcher die Schieferplatten gelocht werden können, anderseits verdickt er sich, so daß eine Hammerbahn, der Nacken entsteht, mittels dessen man die Nägel eintreibt. In Abb. 49 ist dann noch eine Mauerkelle für Schieferdecker und unter Abb. 50 der sogenannte Nagelreißer dargestellt.

Selbstverständlich benutzen große Dachschieferfabriken auch Maschinen zur Herstellung der gleichmäßigen Platten. In diesen Maschinen werden die Schieferplatten, um sie vor dem Zerbrechen zu schützen, zwischen elastischen Kissen gehalten, welche den vom Messer gegen die Platte ausgeführten Stoß aufnehmen. Die Messer sind in diesem Falle ähnlich wie bei einer Guillotine eingerichtet. Es gibt aber auch Maschinen, welche die Bezeichnung Schwertmaschinen tragen und die Bewegung der Handschere nachahmen. Schließlich sind auch Maschinen mit rotierenden Messern, die an einer stählernen Schneide vorübergeführt werden und ähnlich wie eine Schere wirken, in Verwendung.

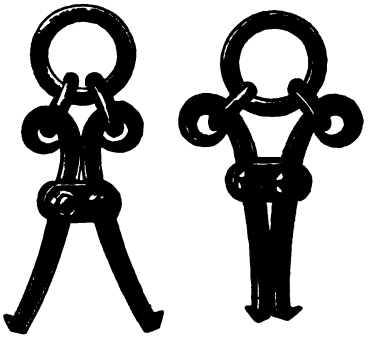
Zur Herstellung der in großen Massen fabrizierten Schulschreibtafeln sind eine Anzahl für diesen Zweck besonders sinnreich konstruierter Maschinen erfunden worden, denn bei diesem Artikel handelt es sich vor allem darum, die Fabrikationskosten möglichst zu vermindern. Auch die Herstellung der Schieferstifte bietet Interesse. Für ihre Fabrikation wird der Schiefer zuerst in Platten von 25—50 mm Dicke gespalten, welche dann in Blöcke von 16—18 cm Länge und 10—12 cm Breite zerteilt werden. Diese Blöcke zerlegt man mit einem dünnen Spalteisen in Platten von etwa 8 mm Dicke, die zwischen flachkantigen Messern geebnet werden. Sie kommen dann in eine Maschine, in der die Platten unter gerieften Messern durchgeführt werden, von denen jedes eine Reihe tiefer Einschnitte in die Platte macht, so daß diese beim Herauskommen aus der Maschine an der oberen Seite mit bis zur halben Dicke durchgehenden Längskanälen versehen ist, die durch halbrunde Wälle voneinander getrennt sind. Die so bearbeitete Platte wird einer zweiten Maschine übergeben, auf welcher die andere Seite der Wirkung einer ähnlichen Reihe von Messern unterworfen wird, wodurch die Stifte vollständig gerundet und voneinander getrennt werden. Auf der Kreissäge werden sie in gleiche Längen geschnitten und auf einem Schleifstein zugespitzt.

Transportvorrichtungen.

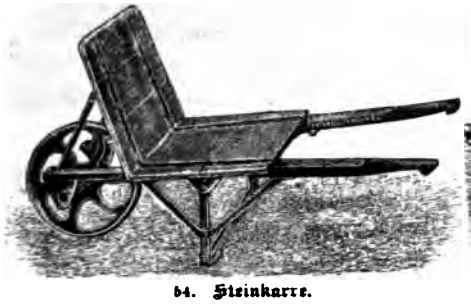
Nachdem im Vorstehenden die Bearbeitung der Steine eingehend besprochen wurde, erübrigt noch, mit einigen Worten diejenigen Vorrichtungen zu erwähnen, welche den Transport und die leichte Handhabung der bearbeiteten Stücke ermöglichen oder doch vereinfachen. Zum Transport roher und bearbeiteter Steinstücke bedient man sich besonderer Werkzeuge, von denen namentlich die zum Heben bearbeiteter Stücke und zum Versetzen der Blöcke auf dem Bau eigens konstruiert sind. Um einen bearbeiteten Block anzuheben, ohne ihn mit Ketten oder Seilen umschlingen zu müssen, braucht man die

51. Kniehebelzange.

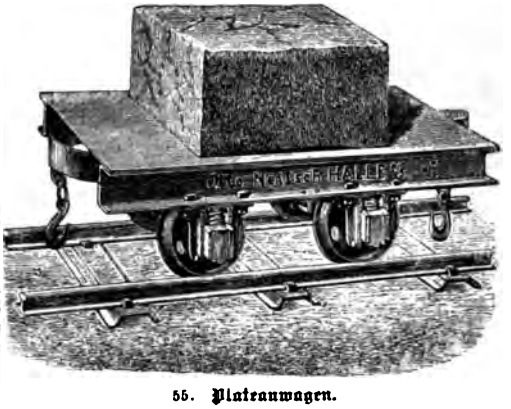
52 Deutscher Steinwolf.



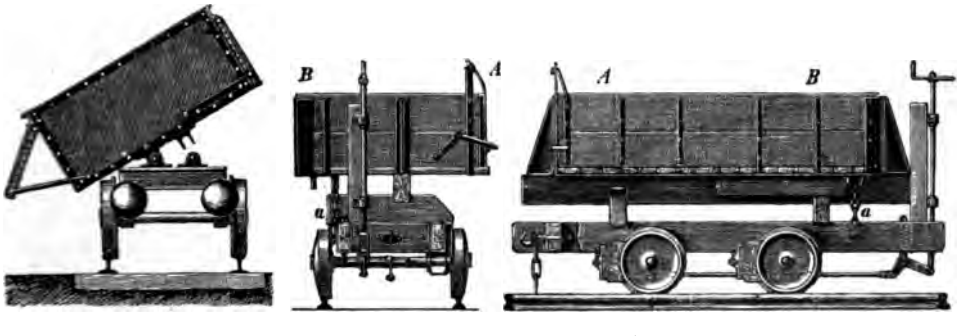
53. Pariser Steinwolf.



54. Steinkarre.



55. Plateauwagen.



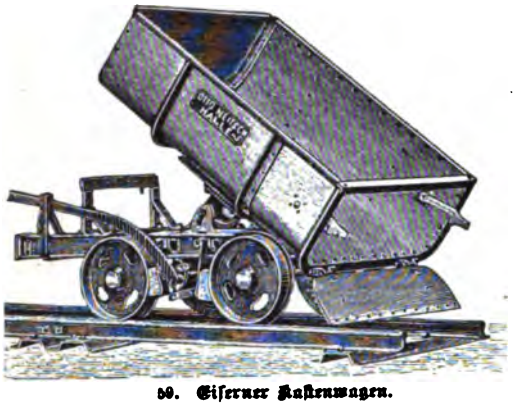
56—58. Hölzerne Kastenwagen zum Abstürzen nach beiden Seiten.

Kniehebelsteinzange (Abb. 51), die bis zu einer Tragkraft von 4000 kg und einer Fassungsweite von 120 cm gebaut wird.

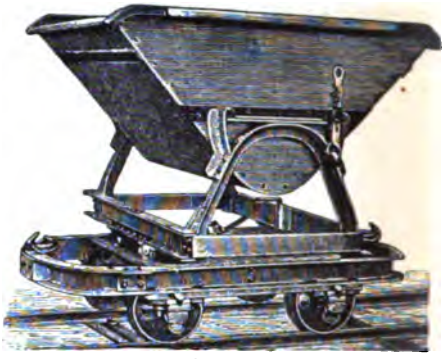
Zuweilen versieht man auch die Werkstücke mit Löchern, in welche man den sogenannten **Steinwolf** einführen kann. Der deutsche Steinwolf (Abb. 52) besteht aus einem nach unten zu breiter ausgeschmiedeten Stück Stahl, welches oben einen Ring trägt und zwischen zwei eisernen Querstücken gleitet. Beim Ziehen an dem Ring drängt das Mittelstück zwei seitlich zwischen den Querstücken aufgehängte, etwas nach außen gekrümmte Stahlhebel nach auswärts und preßt deren Spitzen fest an die Seitenwandungen des Loches, in welches man den Wolf gesteckt hat. Die Tragkraft eines solchen Instru-

mentes beträgt bis 5000 kg. Eine etwas andere Konstruktion zeigt der Pariser Steinwolf (Abb. 53), der im übrigen auf demselben Prinzip beruht.

Der Fortbewegung der Steinstücke in horizontaler Richtung dient für kleinere Stücke die Steinkarre (Abb. 54), für schwere Stücke der Plateauwagen (Abb. 55), der auf transportablen Geleisen läuft. Für den Massentransport geschlagener Steine kann man ebenfalls die Feldbahn nicht entbehren, deren Wagenmaterial je nach Beschaffenheit der Örtlichkeit oder des Transportgutes verschieden gewählt wird. Im allgemeinen wird der hölzerne oder eiserne Kastenwagen (Abb. 56—59), oder der Muldenkipper (Abb. 60) bevorzugt. Abb. 56 zeigt einen hölzernen Kastenwagen, der zum Abstürzen nach beiden Seiten eingerichtet ist. Die oben drehbar aufgehängten Seitenwände werden unten durch



59. Eiserner Kastenwagen.



60. Muldenkipper.

eiserne Haken, welche über eiserne Dorne greifen, festgehalten. In Abb. 57 und 58 ist ein ähnlicher Seitenkipper in beiden Ansichten dargestellt, der, mit Holzkasten versehen, nur nach einer Seite zum Abstürzen eingerichtet ist. Der Kasten ruht auf drehbaren Holzbalken, nicht wie bei Abb. 56 auf eisernen Gelenken, und das vorzeitige Umkippen der Kasten wird durch die seitliche Rückhaltkette a verhindert. Der Wagen ist mit einer Spindelbremse versehen. Abb. 59 stellt einen eisernen Kastenwagen dar, der zum Auskippen nach vorn eingerichtet und mit einer Handhebelbremse versehen ist. Abb. 60 ist der Typus eines eisernen Muldenkippers, der sowohl nach den Seiten, als nach vorn und hinten entleert werden kann. Auf dem Radgestell des Wagens ist nämlich ein eiserner Bock auf Rollen drehbar montiert, welcher die Mulde trägt. Dieser Bock läßt sich um eine Mittelachse um 90° drehen und feststellen, so daß man die Mulde, je nachdem die Arbeit dies bedingt, parallel zu den Schienen oder rechtwinkelig zu ihnen einstellen kann.

Kalk, Zement und Gips.

Kalk. Entstehen und Vorkommen in der Natur. Kohlensaurer Kalk und seine Verwendung. Die Marmorbrüche von Carrara. Die Kalksteinbrüche von Rüdersdorf. Die Kreidegruben bei Lägerdorf und auf Rügen. Ätzkalk. Verwendbarkeit der Kalkarten zur Mörtelbereitung. Brennen in Kalköfen. Öfen mit periodischem Betriebe. Öfen für ununterbrochenen Betrieb. Das Löschen des Kalkes. Mörtelbereitung. — **Zement.** Hydraulische Mörtel (Wassermörtel) und natürliche Zemente. Hydraulische Kalke. Natürliche Zemente. Roman-Zement. Puzzolane. Traß. Santorinerde. Portland-Zement. Geschichtliches. Fabrikation von Portland-Zement. Die Portland-Zementfabrik Stern. Das Portland-Zementwerk Heidelberg. Eigenschaften und chemische Zusammensetzung. Verwendung. — **Gips.** Vorkommen und Zusammensetzung. Verwendung. Das Formen des Gipses. Das Gießen des Gipses.

Kalk.

Entstehung und Vorkommen in der Natur.

Unter den Gesteinen, welche die Rinde unserer Mutter Erde zusammensetzen helfen, spielt der kohlensaure Kalk die Hauptrolle: Von den ältesten Schichten der Sedimentärformationen an bis in die heutige Zeit haben sich unausgesetzt Lager dieses Gesteines in Tausenden von Metern Mächtigkeit gebildet. Aus ihm bestehen ebensowohl die schroff abstürzenden Felsmauern der schwäbischen und fränkischen Alp, wie die wilden Kalkberge der Nord- und Südalpen oder die öden Karstlandschaften am Ufer des Mittelmeeres. In seiner Verteilung finden wir den Kalk in lockeren Ablagerungen, den Produkten der Erosion (der Zerfressung und Auswaschung durch fließendes Wasser oder Regen), der Gletscherthätigkeit u. s. w. Unsere Thonlager enthalten große Mengen von Kalk in Gestalt jener Konkretionen (Zusammenhäufungen), welche man mit dem Namen Septarien zu bezeichnen pflegt. Es sind linsenförmige, im Inneren von Spalten durchzogene mergelige, kalkige oder eisenschüssige Knollen, deren Spalten häufig Kalkspat, Eisenspat, wohl auch Schwefelmetalle enthalten. Auch die von unseren Landwirten ausgebeuteten Mergellager werden ihres Kalkreichtums wegen aufgesucht.

Tiere der mannigfaltigsten Art haben ihre Gehäuse hergegeben, um die mächtigen Kalklager der Gebirge entstehen zu lassen. Vor allen Dingen sind es Mollusken, deren Schalen nach dem Absterben der Tiere zu Boden sanken und sich in Massen anhäuften.

Zu ihnen gesellen sich die Stachelhäuter, die früher offenbar viel stärker in den Meeren vertreten waren als heute und besonders in der jetzt auf wenige Gattungen reduzierten Familie der Crinoiden oder Seelilien einen wunderbaren Reichtum an Formen entwickelten. Aus den Gliedern ihrer zerfallenen Stiele finden wir im Altertume und Mittelalter der Erde häufig genug ganze Schichten aufgebaut, und hin und wieder kommen in diesen Ablagerungen auch noch die wohl erhaltenen zerbrechlichen Kronen jener wunderbaren Gebilde der Natur vor.

Von gewaltiger Bedeutung sind für die Kalkbildung ferner die Korallen, deren mächtige Bauten zu den Wundern der Ozeane gehören. In Gestalt überaus kleiner

Individuen leben sie gesellig zu Kolonien vereint in den ihnen zusagenden Meeren und sondern hier, rastlos arbeitend, ihre Gerüste ab, welche in ihrer Masse sogar der Gewalt der Brandung Trotz zu bieten vermögen.

„Was für ein Leben auf diesem Riffe! Keine nur handgroße Stelle, wo es sich nicht regt und zuckt, und die Krebse und Aneligen ebenso wie die Mollusken und Echinodermen gruppenweise nebeneinander ihr Stillleben führen. So massenhaft treten die einzelnen Arten auf, daß der Wert des Individuums nicht größer ist, als der des Sandkorns der Wüste oder des Wassertropfens im Meere. In jähem Absturze geht es am Rande der Klippe in die dunkelblaue Tiefe hinab. Hier sitzen riesige Holothurien und Aktinien, und zwischen den Ästen der Madreporen klafft die große Tridacna. Der Fels, welcher bis hierher abgestorben ist, scheint durch und durch Leben zu bekommen, denn so weit das Auge in die Tiefe reicht, zuckt es tausendfach und spielen die Fühler der Korallen flimmernd in dem blauen Wasser." Aus den verschiedenen Perioden der Erde sind uns Korallenriffe in großer Zahl bis auf die heutige Zeit erhalten. Mag man nach Gotland fahren oder in die Eifel, mag man in Europa oder Asien suchen, überall findet man die gewaltigen Felsen, welche uns in ihrem Reichtum an Versteinerungen Reste längst verflossener Epochen aufbewahrt haben.

Ungemein groß ist der Einfluß, welchen die genannten Tierklassen auf die Entstehung der Kalklager gehabt haben. Weit übertroffen aber wird er durch die Bedeutung der Foraminiferen, die zu den kleinsten unserer Lebewesen gehören, für die Entstehung unserer Kalkgebirge. Wie gewaltig ihre Menge ist, geht daraus hervor, daß nach einer Schätzung von Max Schulz der Sand vom Molo di Gaeta bei Neapel nach Absiebung der gröberen Körner in einer Unze etwa $1\frac{1}{2}$ Millionen solcher Gehäuse enthält. An der Küste sind sie noch reichlich mit Sand und Schlamm vermischt; weiter in das Meer hinein bilden sie ein fast nur aus solchen Gehäusen bestehendes Sediment. Sie sind es auch gewesen, welche die mächtigen Lager unserer weißen Schreibkreide durch ihre Anhäufung aufgebaut haben. Die Foraminiferen bilden als Stäbe, Kugeln, Polygone, Sterne die mannigfaltigsten und wunderbarsten Körper. Um das Bild noch bunter zu machen, gesellen sich zu ihnen die reizenden Gitterskelette und Nadeln von Kalk- und Kieselschwämmen, sowie die Gehäuse der den Foraminiferen verwandtschaftlich nicht zu entfernt stehenden Diatomeen und Radiolarien.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß kohlensäurehaltiges Wasser Kalk löst, indem es denselben in doppelkohlensauren Kalk überführt. Ein Teil des im Meereswasser gelösten Kalkes kommt an felsigen Gestaden als lokale Kalkbildung zur Ablagerung. Rastlos branden hier die Wogen gegen den Felsen, verlieren dabei einen Teil ihrer Kohlensäure und lassen den Kalk als Niederschlag fallen. Auf solche Weise entstandene Kalklager sind wohl bekannt, jedoch ist nicht zu übersehen, daß sie nur von einem kleinen Teile des im Meerwasser gelösten Kalkes herstammen. Die bei weitem größte Menge desselben wird eine Beute der oben angeführten Tierklassen, welche ihn zum Bau ihrer Schalen und Skelette so überaus nötig gebrauchen. Warum nun fallen diese Schalen und Skelette nach dem Tode ihrer Träger nicht wieder der auflösenden Wirkung des Meerwassers anheim? Es müßte dies in der That geschehen, wenn nicht in dem eigenartigen Bau der organischen Kalkbildungen ein Schutz gegen die Angriffe des Meerwassers läge. Wie der Versuch lehrt, löst sich eine Muschelschale nicht vollkommen in Salzsäure, es bleibt vielmehr eine gallertartige Masse in der Form der Muschel zurück. Sie ist von einem Netzwerke organischer Substanz durchdrungen und umhüllt mit den Membranen derselben den kohlensauren Kalk, so daß er in gewissem Grade vor der Auflösung bewahrt bleibt. Viele Muschelschalen sehen wir auch mit einer kräftigen Epidermis oder einem sonstigen organischen Gewebe bedeckt, welche dem Einflusse des Meerwassers energischen und erfolgreichen Widerstand entgegenstellen. So geschützt sinken die Schalen zu Boden und häufen sich hier im ewigen Wechsel der Zeiten an. Aber auch in Flüssen, Seen und Teichen setzt sich Kalk ab; auch das Land liefert uns solchen, und wiederum ist es die auflösende Wirkung kohlensäurehaltigen Wassers, welche hier eine einflußreiche Rolle spielt. Überall, wo kalkhaltiges Wasser innig mit Luft in Berührung kommt, scheidet sich Kalk ab.

Auf diese Weise entstehen jene wunderbaren Gebilde, welche unsere Touristen in die tiefen Höhlen der Kalkgebirge locken, um hier die Stalaktiten und Stalagmiten in ihrer wildromantischen Pracht zu beobachten. Aus unzähligen feinen Spalten und Rissen sickert das Wasser in die Tiefen des Kalkgebirges, kleine Mengen des Materials lösend. Kommt es endlich in eine Kluft oder Höhle, so sammelt es sich tropfenweise an einem kleinen Vorsprunge an und verdunstet oder tropft ab, um sich unten zu verflüchtigen. In beiden Fällen bleibt der Kalk als weißer Kalksinter oder Tropfstein zurück.

Auf dieselbe Weise bilden sich die Kalktuffe, welche besonders aus der Gegend von Rom her unter dem Namen Travertin bekannt sind und das herrliche Quadermaterial für die Prachtbauten Roms liefern. In schäumenden Kaskaden stürzt sich dort der Anio von den Höhen des Apennin zur Campagna hinab, in Millionen von Tropfen zerstäuben seine eilenden Gewässer und geben so die Bedingungen zur Ausscheidung des Kalktuffes. Seine verhältnismäßig lockeren Massen umschließen vielfach Abdrücke von Blättern, Stengeln und Pflanzenteilen aller Art, welche der Wind in das Wasser hineingeweht, oder die der Fluß von weither mitgeführt hat.

Betrachten wir den Kalk vom mineralogischen Standpunkte aus, so stellt er sich im wesentlichen als ein Aggregat von Kalkspatindividuen dar, welche die Form des Rhomboeders besitzen. Die reinste Form bildet den klaren, durchsichtigen Doppelspat. Die Kryſtallformen des kohlensauren Kalkes gehören dem hexagonal-rhomboedrischen Systeme an. Die Zahl seiner Kombinationen beläuft sich auf mehrere hundert. Wunderbar ist der Aufbau vieler größerer Kryſtalle; reihenförmige, büschelartige, garben-, stauden-, rosetten- und treppenförmige Gruppen kommen nicht selten vor. Die sehr mannigfaltigen Varietäten des Kalkes werden unter verschiedenen Namen aufgeführt. Kalkspat und Kalksinter haben wir bereits kennen gelernt. Werden die letzteren stengelig oder faserig, so entstehen der faserige Kalkspat oder Faserkalk und der faserige Kalksinter.

Den unkryſtallisierten Kalk teilen wir in Süßwasserkalk und Meereskalk ein. Zu dem ersteren gehört der Wiesenkalk, welcher in unseren Seen und Flußmündungen vielfach zum Absatze gekommen ist und sich als eine weiche Masse mit vielen organischen Resten und Petrefakten darbietet. Gewöhnlich wird das Liegende desselben von Sand gebildet, während sein Hängendes aus Torf besteht. Die meisten unserer Wiesenkalklager sind zur Postglacialzeit entstanden, unter den Wiesen setzt sich ihre Bildung oft genug noch heute fort.

Ein grob- bis feinkörniges Aggregat von Kalkspatindividuen, welche nach allen Richtungen hin durcheinander gewachsen sind, ist der Marmor. Seine Farbe ist gewöhnlich weiß oder hellgrau, hellgelb, hellrötlich, gebändert oder geflammt. Der Reichtum des Marmors an sog. accessorischen Bestandteilen ist bedeutend, und seine Ablagerungen sind zur Freude der Mineraliensammler oft eine reiche Fundstätte für die schönen Drusen und Kryſtalle von Epidot, Granat, Korund, Quarz, Flußspat, Schwefelkies u. s. w. Die Blöcke am Monte Somma bei Neapel zeigen, daß bei der Entstehung dieser Mineralien die Hitze der vorüberströmenden Lava eine Hauptrolle gespielt hat, wie auch durch ihren Einfluß die Blöcke aus gewöhnlichem kohlensauren Kalke in Marmor umgewandelt sind.

An den Marmor schließt sich der dichte oder gemeine Kalk an. Seine Struktur ist äußerst feinkörnig kryſtallinisch und oft erst mit Hilfe des Mikroskopes zu erkennen. Oolithischer Kalk setzt sich aus rundlichen, hirse- bis erbsengroßen Kalkkörnern von konzentrisch-strahliger Struktur zusammen. Tritt die Grundmasse zurück, so daß sich die Körner berühren, und bestehen letztere aus Aragonit, so nennt man diese Abart des oolithischen Kalkes Erbsenstein oder Pisolith, der von Karlsbad her genügend bekannt ist; sind dagegen radialfaserige Kalkkörner durch ein thonig mergeliges Bindemittel verbunden, so spricht man von Rogenstein, welcher bei Braunschweig, Bernburg, Eisleben, Wolfenbüttel und anderen Orten im unteren Buntsandstein vorkommt.

Andere Einteilungen der Kalke basieren auf der geographischen Verbreitung, (Eifeler-Kalk, Hallstätter-Kalk, Trenton-Kalk), auf der Formation, aus der sie stammen (Jurakalk, Muschelkalk, Zechsteinkalk), auf ihrer Versteinerungsführung (Trilobiten-Kalk, Gryphiten-Kalk, Ceratitenkalk, Nummulitenkalk) u. s. w.

Nicht selten finden wir, daß ein Teil des kohlensauren Kalkes mächtiger Kalkablagerungen durch kohlensaure Magnesia ersetzt ist. In diesem Falle redet man von dolomitischem Kalke. Wächst die Menge der kohlensauren Magnesia so an, daß sie zu der des kohlensauren Kalkes etwa im Verhältnisse von 46 : 54 steht, so erhalten wir den Dolomit, der seinem Entdecker, dem französischen Mineralogen Dolomieu zu Ehren benannt ist. Bald nach der Entdeckung des Dolomites begannen die Geologen über seine Entstehung Untersuchungen anzustellen, und schon nach kurzer Zeit wichen die Meinungen der einzelnen Forscher wesentlich voneinander ab. Leopold von Buch betonte z. B., daß der Dolomit keine in normaler Weise gebildete Ablagerung, sondern ein später durch irgendwelche Verhältnisse umgeänderter Kalk ist. Die Frage seiner Entstehung ist heute noch keineswegs völlig geklärt.

So hat die Natur, welche auch im Reiche der Lebewesen so unendlich verschiedene Wege einschlägt, um schließlich doch dasselbe Ziel zu erreichen, auch hier die mannigfaltigsten Mittel benutzt, um Gebilde entstehen zu lassen, deren Arten und Abarten zu den nutzbringendsten Stoffen für die Menschheit geworden sind.

Kohlensaurer Kalk und seine Verwendung.

Wir haben gesehen, in welcher außerordentlichen Verbreitung der Kalk in der Natur sich findet, und wissen, daß weitaus der größte Teil dieses Kalkes, an Kohlensäure gebunden, als kohlensaurer Kalk in den mannigfaltigsten Formen vorkommt. Der kohlensaure Kalk ist es nun auch, welcher der Industrie im größten Umfange zu dienen bestimmt ist. Ebenso mannigfaltig wie sein Vorkommen ist seine Verwendung. Als roher Steinblock dient er als Baustein und in der edleren Form des Marmors dem Bildhauer als unübertroffener Rohstoff für Ausführung seiner Kunstwerke. Für die graphischen Künste sind der Kalkstein von Solnhofen zur Lithographie und die Schreibkreide unentbehrlich.

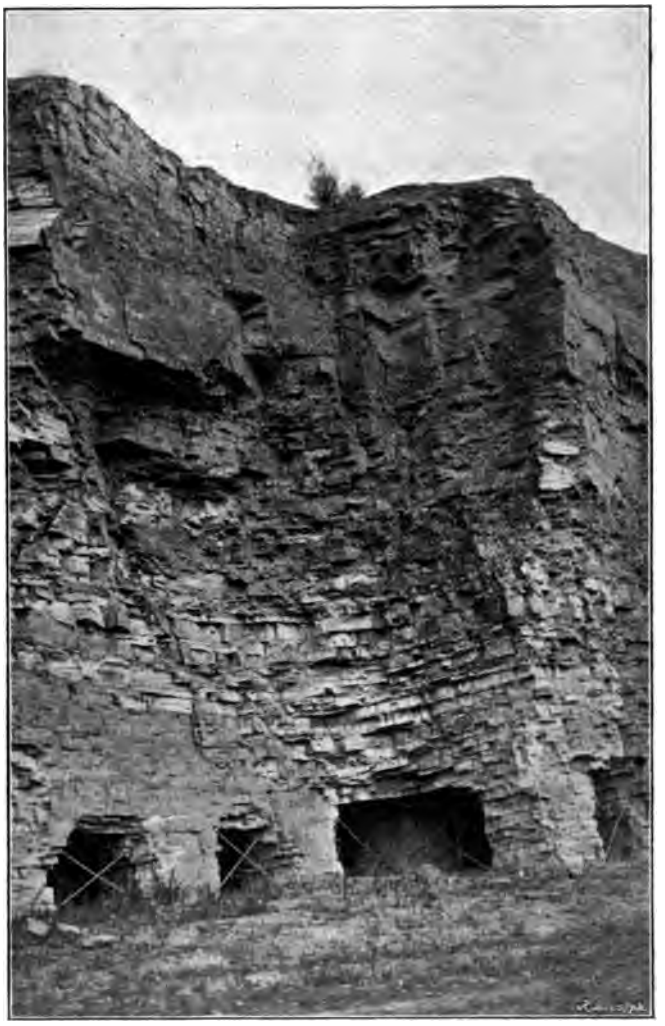
Die Kryställe des Kalkspates, besonders der klare Doppelspat von Island sind ihrer doppelt brechenden Eigenschaft wegen für den Physiker zur Konstruktion der Polarisationsinstrumente wichtige Hilfsmittel. Viele andere Verwendungszwecke und Verwendungsmöglichkeiten ließen sich noch nennen.

Über die Bedeutung und Ausdehnung der natürlichen Kalklager wollen wir uns ein Bild verschaffen durch die Betrachtung dreier hervorragender Fundorte der Hauptgruppen des direkt nutzbaren Kalkes: des Marmors, des dichten, gewöhnlichen Kalksteins und der Kreide.

Der carrarische Marmor hat allgemein einen solchen Ruf als vorzügliches Bildhauermaterial, daß es wohl keiner besonderen Beschreibung desselben bedarf; weniger dürfte jedoch über sein Vorkommen, seine Ausbeute und andere Umstände bekannt sein. Obgleich die Trias-Formation des kryställinischen kohlensauren Kalkes sich in der ganzen Apenninen-Kette vorfindet, so ist die reine, absolut weiße Art doch nur in der Mitte dieses Gebirgszuges konzentriert, wo außerdem noch eine blaue, fast noch höher geschätzte und ebenso eine violette Abart vorkommen. Diese Marmorablagerungen bilden eine einzige Kette, die sich stellenweise spaltet und wieder vereinigt und in der Nähe von Carrara ihre größte Dicke, wohl an 1000 m, erreicht. Obgleich das ganze Thal von Carrione, die ganze Provinz Massa-Carrara, sich überhaupt mit dem Abbau des Marmors beschäftigt, woselbst sich über tausend Marmorbrüche befinden, von denen indes nur etwa die Hälfte beständig in Thätigkeit ist, so bleiben doch Massa und Carrara entschieden die wichtigsten, den reinsten Marmor führenden Plätze. Während im Jahre 1880 die Ausbeute an beiden Stellen 102 712 t betrug, von denen 83 683 auf Carrara kamen, hat sich dieselbe im Jahre 1894 auf 183 870 t gesteigert, von denen wiederum der größte Teil, nämlich 164 095 t auf Carrara fallen; im ganzen sind in den letzten 15 Jahren nicht weniger als 2 285 825 t gebrochen worden, von denen 2 044 427 ins Ausland gingen. Daß diese riesigen Mengen des edlen Gesteines nicht allein zu Statuen und Kunstbildhauereien Verwendung finden, braucht wohl nicht erst erwähnt zu werden. Der Preis des Rohmaterials ist selbstverständlich je nach der Qualität ein sehr verschiedener und wechselt von 110—200 Mark pro Kubikmeter für den reinen, weißen Marmor, während für die

erwähnte blaue Spielart 190—250 Mark gezahlt werden, welcher Preis jedoch, wenn es sich um große Blöcke von tadelloser Gleichartigkeit handelt, bis zu 1700 Mark steigt. Zur Mörtelbereitung findet der carrarische Marmor nur in beschränktem Umfange Verwendung.

Für die Mörtelbereitung in der norddeutschen Tiefebene und die Lieferung plattenförmigen Bruchsteinmaterials zu Bauzwecken nach Berlin und den anderen großen Städten Norddeutschlands sind die Rüdersdorfer Kalksteinbrüche bis in die neueste Zeit geradezu unentbehrlich gewesen. Erst seit einigen Jahren macht sich die Konkurrenz schlesischer Kalke fühlbar. Die bei Rüdersdorf aufgeschlossenen Triasgebilde bestehen aus Buntsandstein und Muschelkalk. Die Schichten des Muschelkalks sind schon im 14. Jahrhundert durch Mönche des Klosters Zinna im regelrechten Bruchbetriebe ausgebeutet worden, der im Laufe der Jahrhunderte mehr und mehr erweitert und schließlich vom Kurfürsten Johann Sigismund der Stadt Berlin überwiesen wurde. Seit 1855 erfolgt der Betrieb der Brüche auf gemeinschaftliche Kosten des Fiskus und der Stadt Berlin.



61. Pfeilerbau im Kalksteinbruch Rüdersdorf.

Durch die von der Kolonie Rüdersdorfer Grund nach Tasdorf führende Straße werden die Brüche in zwei Teile zerlegt; die ganze östliche Hälfte nimmt der gewaltige Alvenslebenbruch ein, welcher sich nur an der Ostwand durch Abbau erweitert, die westliche Hälfte bildet der sogenannte Tiefbau. Zwischen beiden vermittelt ein Kanal in Verbindung mit dem Kessel- und dem Kalksee die Wasserverbindung nach Berlin, der Havel und der unteren Elbe. Der Abbau der Brüche erfolgt derart, daß in die steil ansteigenden Bruchwände am Fuße derselben Stollen getrieben und diese durch Querschläge miteinander verbunden werden. Es entsteht auf diese Weise ein im Grundrisse schachbrettartig angeordnetes Pfeilersystem, auf welchem die gewaltige Masse der Bruchwände steht. Ist in dieser Weise der Abbau vorbereitet, so werden die Pfeiler mit hunderten von Bohrlöchern versehen und mit Sprengstoffen geladen. Sämtliche Schüsse werden dann, zum Teil mit Hilfe elektrischer Zündung, gleichzeitig gelöst, und unter einem furchtbaren Donnern und Beben stürzt die mehr als 100 m hohe Wand

in sich zusammen. Ein solcher Bergsturz wird wochenlang vorbereitet und lockt regelmäßig eine große Menge Schaulustiger heran. Die in großen und kleinen Stücken niedergefallenen Steine werden sortiert. Die großen finden als Bausteine Verwendung, die mittleren bis zu 15 cm Größe zum Brennen von Kalk, und die kleinen werden teilweise zur Zementfabrikation verwendet, teilweise auf Halden abgestürzt. Der Transport bis zu den Schiffen geschieht auf einem umfangreichen Schienennetz in kleinen Rollwagen, und zu den Rüdersdorfer Kalköfen auf einem mächtigen Bremsberge mit Maschinenbetrieb. Etwa 1200 Mann finden unter Leitung eines Oberbergrates und 15 Werks-Beamten in den Brüchen gegen einen Schichtlohn von 3 Mark pro Kopf Beschäftigung. An rohen Steinen werden jährlich etwa 350 000 cbm und an gebranntem Kalk in Rüdersdorf selbst werden 40 000 Tonnen gewonnen. Die Steine gehen zum Brennen bis nach Hamburg, nach Mecklenburg, Pommern und Westpreußen. Der erzielte Reingewinn schwankt zwischen 300 000 und 600 000 Mark.

Die wichtigsten Fundorte für die zur Zementfabrikation und zur Schlämmkreidefabrikation in großem Umfange nutzbare Kreide sind in Deutschland die Lager von Lägerdorf in Schleswig-Holstein und die Kreidegruben der Insel Rügen, Ablagerungen, welche noch heute Kunde geben von dem Vorhandensein jenes gewaltigen Meeres, von dem zur Senonzeit fast ganz Europa überflutet wurde, und welche aus dem überlagernden Tertiär oder Diluvium hervorragen, oder durch Bohrungen und Grabungen erschlossen wurden. Solche Partien sind in Schleswig-Holstein seit langem bekannt. Namentlich ist ein südlich von Itzehoe belegener, rings von Marsch- und Moorniederungen umgebener hoher Landstrich, in alten Zeiten Wellna genannt, an seinem südlichen Ende auf Schreibkreide gegründet. Der Fuß dieses Kreidegipfels reicht nach Süden und Osten gegen die Marsch hinab und wird nach Westen hin durch Braunkohlensand abgeschlossen. Nach Norden hin ist die Ausdehnung des Kreideflözes, über dem Geschiebesand von veränderlicher Mächtigkeit gelagert ist, noch unbekannt. Schon im Jahre 1846 haben zwei Kreidemühlen, welche auf der Schinkeller Kreide gebaut waren, über eine Million Pfund nach Hamburg und Altona gesandt, und außerdem haben die Einwohner der benachbarten Dörfer das reiche Lager in einer Art von Raubbau ausgebeutet. Nachdem die dortige Zementfabrikation einen gewaltigen Aufschwung genommen hat, wird die Kreide in zahlreichen tiefen Gruben abgebaut, deren bedeutendste, der Firma Alsensche Portland-Zementfabriken in Hamburg gehörig, eine Tiefe von 25 m hat. Die Abb. 62 u. 63 stellen eine Kreidegrube mit der Zementfabrik im Hintergrunde und einen an anderer Stelle zur Abfuhr in die Fabrik auf Vorrat geförderten Kreideberg dar. Die Kreide, welche nur nahe an der Grenze des Diluviums bröcklig wird, hat überall gleiches Aussehen, ist reich an Schwefelkiesknollen und Versteinerungen und durch sehr regelmäßige, immer etwa 1—1,5 m voneinander abstehende Bänke, Schnüre und Knollen sammetschwarzen Feuersteines ausgezeichnet. Die Mächtigkeit der Kreide ist sehr bedeutend; ein Bohrloch von 180 m Tiefe hat die Kreide noch nicht durchsunken, doch ist zunächst an eine Ausbeutung bis zu so großen Tiefen nicht zu denken. Immerhin werden aus den jetzt vorhandenen Gruben in Lägerdorf jährlich etwa 190 000 cbm Kreide gefördert, die größtenteils an Ort und Stelle zu Zement verarbeitet, teilweise aber auch, namentlich für die Milchglasfabrikation, als Stückenkreide oder geschlämmt und in Fässern von je 5 Ztr. Inhalt verpackt als Schlämmkreide für 90 Pfennig pro Zentner frei Hamburg verkauft wird.

Ein ganz ähnliches, dem Senon angehörendes, noch mächtigeres Kreidevorkommen weist die Insel Rügen auf. Namentlich besteht die Halbinsel Jasmund auf der Nord- und Nordostseite aus einem Kreidegebirge, das ebenfalls von horizontalen Feuersteinlagern durchzogen ist und an mehreren Seiten weite, runde Einschnitte hat, deren in die See vorspringende Spitzen kleine Vorgebirge, die Stubbnitz und die berühmte Stubbenkammer bilden. Die höchste Spitze, der Königsstuhl, steigt 122 m steil aus dem Meere auf. Das Innere der Halbinsel birgt zahlreiche größere und kleinere Kreidegruben und Kreideschlämmereien, die entweder Rohkreide an die Pommerschen Zementfabriken oder Schlämmkreide in Fässern vorwiegend nach Stettin liefern.

62. Kreidebruch und Zementfabrik in Lägerdorf in Holstein.

Fast noch mehr als der natürlich vorkommende Kalk, dessen Verwendungsmöglichkeiten wir in den Hauptsachen kennen lernten, ist ein aus ihm erzeugtes Kunstprodukt nutzbar. Wird nämlich kohlensaurer Kalk stark erhitzt, so zerlegt er sich in Kohlensäure und gebrannten Kalk (Calciumoxyd, Ätzkalk). Sowohl die Kohlensäure als auch der Ätzkalk sind industriell wertvolle Produkte, erstere findet hauptsächlich in der Zucker- und Ammoniaksoda-Fabrikation Verwendung, letzterer dient den mannigfaltigsten Zwecken. Man benutzt ihn als schlackenbildendes Mittel beim Einschmelzen von Metallen, zur Glasfabrikation, als Putzmittel, in der Zuckerfabrikation zur Melasseverarbeitung und zu vielem anderen. Die größte Verwendung findet er gelöscht als Kalkhydrat (Calciumhydroxyd, $Ca\,O_2\,H_2$), d. h. mit Wasser übergossen, wobei er einen weißen, schlüpfrigen, fetten Brei, oder bei Anwendung von weniger Wasser ein lockeres weißes Pulver (pulverförmiges Kalkhydrat) liefert, die beide zur Mörtelbereitung dienen. Der gelöschte Kalk

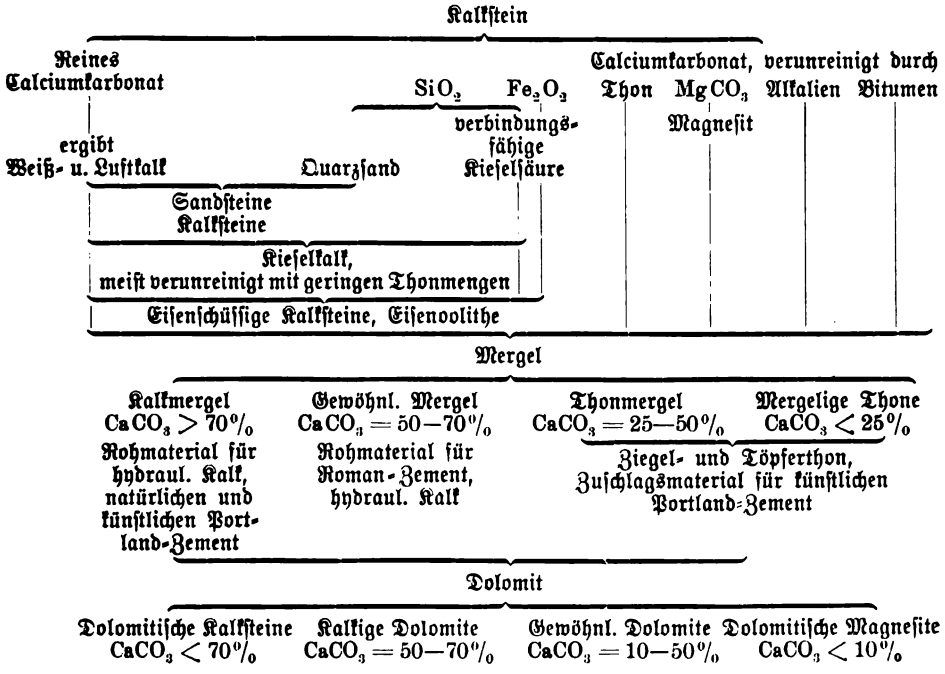
68. Auf Vorrat gearbeiteter Kreideberg in Lägerdorf in Holstein.

ist außerdem ein unentbehrliches Hilfsmittel der chemischen Industrie geworden, da er eine starke Base ist und aus Lösungen durch Säuren, namentlich als kohlensaurer oder schwefelsaurer Kalk leicht wieder ausgeschieden werden kann.

Verwendbarkeit der Kalkarten zur Mörtelbereitung.

Bei der Mörtelbereitung muß der richtigen Auswahl des Rohmaterials das Hauptaugenmerk gewidmet werden, denn der Kalkstein tritt nur selten als reines Calciumkarbonat ($CaCO$) auf. Er ist zumeist mehr oder weniger verunreinigt mit Quarzsand, mit Verbindungen und Gemengen von verbindungsfähiger Kieselsäure und Thonerde, mit Eisenoxyd, Alkalien, Magnesiakarbonat, Pyrit und Bitumen als Inbegriff der organischen Substanzen.

Die folgende Zusammenstellung gibt ein übersichtliches Bild der für die Mörtelbereitung in Frage kommenden Arten und Abarten des kohlensauren Kalkes und ihres hauptsächlichen Verwendungszweckes.



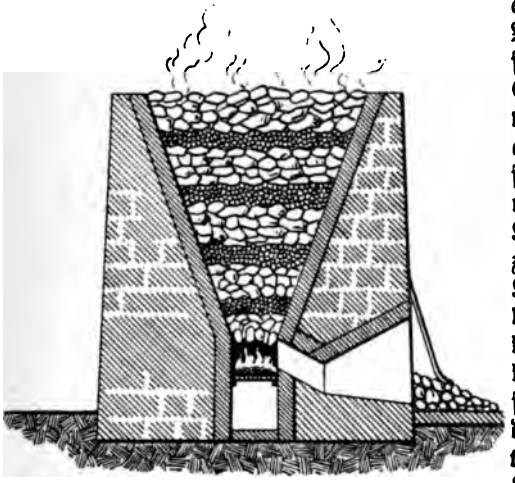
Soll aus diesen zahlreichen Steinen und Erden die richtige Auswahl getroffen werden, so muß man den Verwendungszweck ins Auge fassen. Ziemlich reine Kalksteine geben beim Brennen den Fettkalk oder Weißkalk, weniger reine den Magerkalk oder Graukalk, der in größerem oder geringerem Grade die Fähigkeit hat, unter Wasser zu erhärten, und deshalb auch hydraulischer oder Wasserkalk genannt wird. Verunreinigungen mit Thon in größerer Menge bilden die Mergel, die uns direkt zu den Thonen überleiten.

Soweit interessieren uns die Rohstoffe für die Fabrikation der Kalkmörtel. Nun ist aber auch der reine Kalk, wie wir schon gesehen haben, je nach der Formation, welcher er entstammt, in der Struktur sehr verschieden. Von den dichten oder derben Kalksteinen der sedimentären Formationen ist der Marmor der beste, ihm schließen sich in ungeheuren Ablagerungen der Grauwackenkalk, Muschelkalk, Jurakalk an. Geringere Dichtigkeit des Gefüges besitzt schon der Plänerkalk, der, wenn er erdig und locker wird, zur Kreide überführt, an die sich dann weiter die Süßwasserkalke und der Wiesenkalk angliedern. Die dichten und festen Kalksteine werden als Steinkalk in großen Stücken oder als Geschiebe und Gerölle direkt im Ofen gebrannt. Kreide und Wiesenkalk müssen erst eingesumpft und in Ziegelformen zu Steinen gestrichen werden, um im Ofen gebrannt werden zu können. Wo alle diese Stoffe fehlen, z. B. in den flachen Landstrichen der holländischen Küste, stellt man sich wohl auch gebrannten Kalk aus Muschelschalen her.

Das Brennen in Kalköfen.

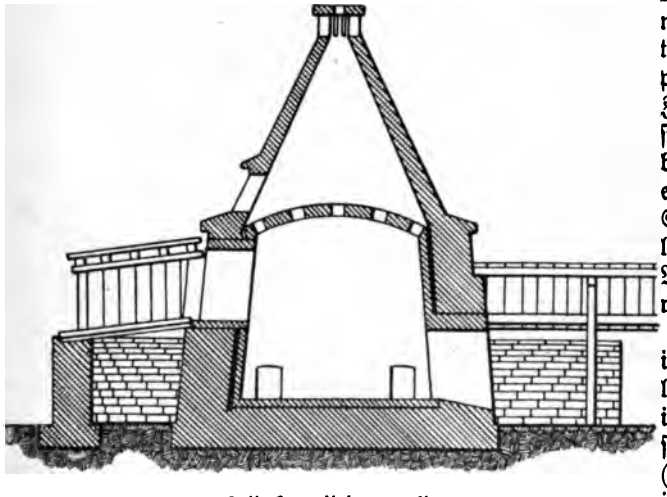
Die Prüfung der zum Brennen bestimmten Kalksteine nimmt man vor, indem man sie mit einer starken mineralischen Säure, am besten mit Salzsäure, übergießt. Das lebhafte Aufbrausen verrät den Gehalt an Kohlensäure, welche in diesem Falle durch die stärkere Salzsäure aus ihrer Verbindung mit dem Kalk vertrieben wird. Es entsteht Chlorcalcium und Wasser, während die Kohlensäure verfliegt. Die Kalkerde selbst ist in diesem Falle nicht frei geworden, sie hat nur ihre Verbindung gewechselt; anders ist es beim Brennen, wo das strenge Gebot der Hitze die Trennung von der Kohlensäure bewirkt, ohne daß ein Ersatz geboten wird. Hier bleibt die Kalkerde allein zurück und zeigt dann ganz veränderte Eigenschaften; sie ist ätzend und scharf geworden und sucht mit allen Kräften eine Wiedervereinigung, sei es mit Kohlensäure, sei es mit Kieselsäure — ist

im ersten Anlauf auch schon mit Wasser zufrieden. Dadurch wird der gebrannte Kalk im Mörtel zu einem ausgezeichneten Bindemittel. Das Verhalten, die Kohlensäure bei starker Glühhitze zu verlieren, zeigt der kohlensaure Kalk (Kalkkarbonat) aber nur dann, wenn die Kohlensäure frei entweichen kann. Geschieht dagegen die Erhitzung in einer allseitig verschlossenen Röhre, so kommt die Masse ins Schmelzen und erlangt beim Erstarren ein krystallinisches Gefüge. Beim Glühen in einer geschlossenen Röhre entweicht zwar auch ein Teil der Kohlensäure, aber nur so viel, als sich in der Röhre ansammeln kann, bis darin eine gewisse Spannung erzeugt ist, welche die noch übrige Kohlensäure zwingt, in ihrer Verbindung zu bleiben. Ist aber durch die Hitze alle Kohlensäure verjagt, so erleidet die übrig bleibende reine Kalkerde, der sogenannte Ätzkalk, durch weitere, auch noch so große Hitze keine Veränderung mehr, denn er ist unschmelzbar; man benutzt dies Verhalten neuerdings in der Art, daß man daraus Schmelztiegel für Platin und andere schwerflüssige Metalle formt.



64. Trichterofen.

Das Brennen der Kalksteine geschieht entweder in Meilern, wie bei der Kohlenbrennerei, oder gewöhnlicher in besonders dazu gebauten, festen Öfen, Kalköfen. Die erstere Methode, welche nur für vorübergehende Zwecke gewählt wird, findet meist in unmittelbarer Nähe der Kalkbrüche, überhaupt aber nur da statt, wo das Brennmaterial einen sehr geringen Wert hat. Der Aufbau der Meiler erfolgt über strahlig nach dem Mittelpunkt zu gelegten Heizkanälen aus Schieferplatten, Ziegeln oder dergl. Zwischen den aufgesetzten Kalksteinen wird, wie beim Ziegelbrande, das Brennmaterial eingestreut und durch hölzerne Stangen das Feuer weiter geleitet. Äußerlich wird der Meiler, der 3—5 Tage brennt, mit Lehm verschmiert.

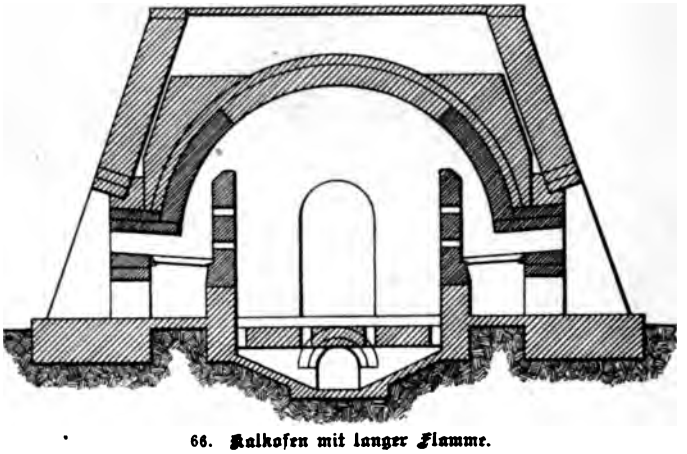


65. Kalkofen mit langer Flamme.

Die Kalköfen sind in ihrer Form verschieden, sie lassen sich aber im wesentlichen in zwei Klassen teilen, in solche mit periodischem (unterbrochenem) Betriebe und in solche mit ununterbrochenem Gange, in denen, wie bei den Schüttöfen, oben kontinuierlich rohe Kalksteine aufgegeben werden, während man unten die gebrannten herausnimmt. In beiden Klassen gibt es wieder eine ganze Anzahl von Formen, von denen wir uns die wichtigsten Typen an der Hand von Querschnittsskizzen kurz betrachten wollen.

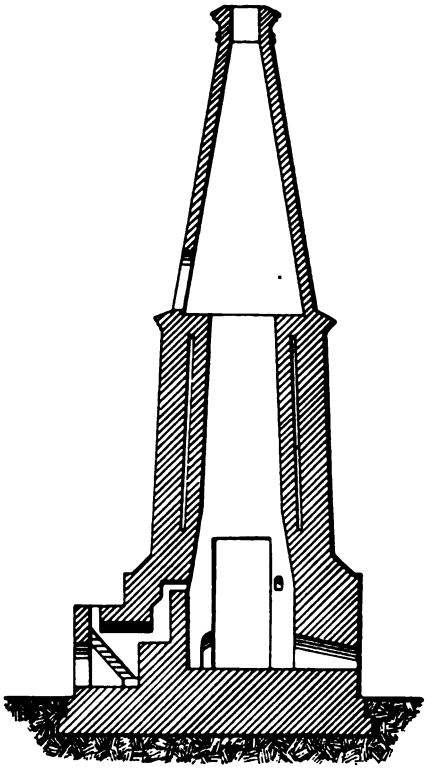
Abb. 64 stellt einen Trichterofen zu periodischem Betriebe dar. Es ist ein Ofen mit kurzer oder kleiner Flamme, d. h. Kalksteine und Brennmaterial sind in abwechselnden Schichten in den Schacht des Ofens gebracht. Indem man die unterste Schicht des Brenn-

materials entzündet, verbreitet sich allmählich das Feuer nach oben, so daß jede Schicht des Brennmaterials die darüber liegende Schicht Kalkstein garbrennt. Im unteren Teile des trichterförmigen Schachtes liegt ein Rost, über dem ein Kanal seitlich abgeht, welcher vermauert oder durch eine eiserne Thür geschlossen werden kann, und durch welchen der gebrannte Kalk abgezogen wird. Ist das Feuer bis nach oben hin gelangt, was etwa 24 bis 36 Stunden dauert, so läßt man den Ofen erkalten und zieht den Kalk ab. In diesen Öfen braucht man durchschnittlich auf drei Raumteile Kalksteine einen Raumteil Steinkohle.



66. Kalkofen mit langer Flamme.

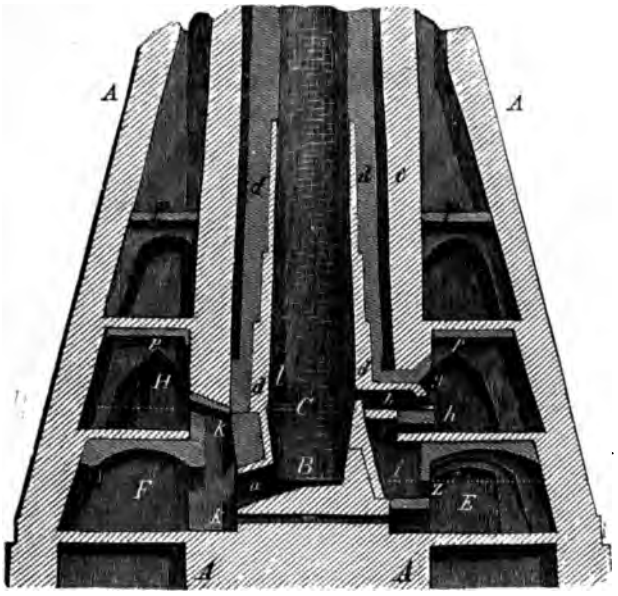
Ein anderer periodisch zu betreibender Ofen ist in Abb. 65 dargestellt. Es ist ein Ofen mit langer oder großer Flamme, in dem der Kalk allein durch ein kräftiges Flammenfeuer und glühende Feuerluft gargebrannt wird. Zum Brennen des Kalkes dient der überwölbte Raum von etwa $3\frac{1}{2}$ m Höhe und ebensoviel Weite. Die Feuerungen liegen hier außerhalb des Schachtes in gleicher Höhe mit der Ofensohle. Vier solcher Feuerungen sind symmetrisch um den Ofen angeordnet und mit eisernen Rosten versehen, über denen zur besseren Verteilung der Flamme kleine Gewölbe aus Kalksteinen aufgesetzt werden. Darüber kommt Kalkstein, indem man mitten im Ofen ein Stück Holz einbaut, welches bald verbrennt und einen Zugschacht bildet. Die beiden Eingänge, durch welche der Kalkstein eingebracht wird, werden während des Brennens zugemauert und mit Lehm verschmiert. Oben hat der Ofen in dem trichterförmigen Mantel noch einen Zugang zu den Zuglöchern im Ofengewölbe, die man je nach Bedarf durch aufgelegte Steine verschließt, um die Glut nach beliebigen Stellen des Ofens hinlenken zu können. In diesen Öfen, die in Norddeutschland sehr verbreitet sind, dauert ein Brand durchschnittlich drei Tage.



67. Schachtofen mit Generatorfeuerung.

Ein Ofen mit langer Flamme ist ferner in Abb. 66 dargestellt. Dieser Ofen bildet ein Gegenstück zu dem vorigen, denn während bei Abb. 65 die Flamme nach oben steigt, fällt sie bei Abb. 66 über die hohen Feuerbrücken, unter Einwirkung des unteren Gasabzuges in der Ofensohle, von oben nach unten. In der Abbildung sind zwei Rostheizungen seitlich angeordnet und durch feuerfeste Wände vom eigentlichen Ofenraum getrennt, so daß hier das Brennmaterial mit dem Kalk nicht in Berührung kommt; das hat den Vorzug, daß die Qualität des Kalkes durch die Asche des Brennmaterials nicht beeinträchtigt wird. Zuweilen werden die Zwischenwände

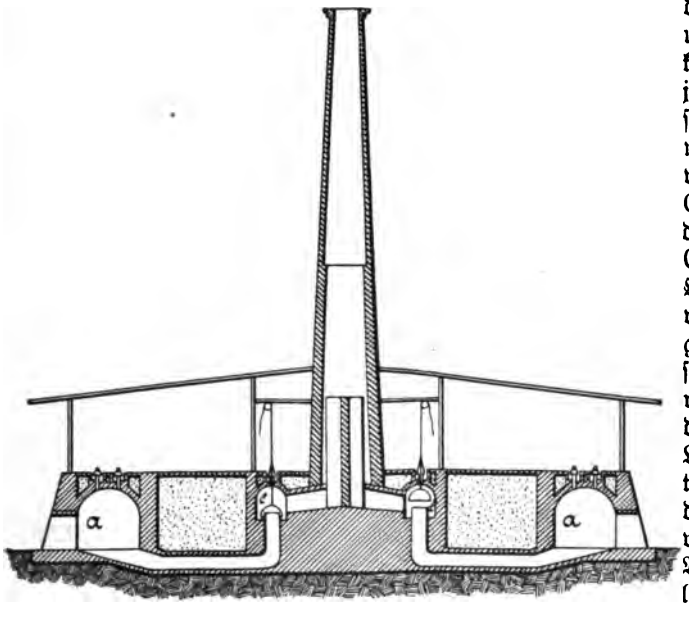
noch mit kleinen Öffnungen versehen, so daß die Flamme zum Teil auch in horizontaler Richtung in den Ofen gelangt. Die in der Ofensohle liegenden Rauchabzugsöffnungen sind durch eine Anzahl kleiner Kanäle mit dem zum Schornstein führenden eigentlichen Rauchkanal verbunden. Solche Öfen sind, weil sie ziemlich teuer arbeiten, mehr zum Brennen besserer Ziegelwaren, die höhere Temperatur zum Garbrande erfordern, geeignet.



68. Schachtofen mit Halbgasfeuerung.

Während es bei den eben geschilderten Öfen notwendig ist, den Ofen nach Vollendung des Kalkbrennens abzukühlen, wodurch erheblicher Wärmeverlust entsteht, braucht man bei den Öfen für ununterbrochenen Betrieb während der ganzen Zeit, in der man Kalk brennt, nur einmal zu heizen. Freilich sind solche Öfen nur da am Platze, wo ein regelmäßiger großer Absatz gesichert ist, denn gebrannter Kalk läßt sich nur schwierig längere Zeit aufbewahren.

Abb. 67 stellt einen bewährten Schachtofen mit Generator-Feuerung nach dem System des Schweden Fahnehjelm dar. Die Kalksteine werden oben von der Gichtbühne aus direkt in den Ofen gestürzt, und der gebrannte Kalk wird kontinuierlich unten abgezogen, je nachdem der Brand fortschreitet. Das Brennmaterial wird auf einem Treppenrost vergast und die entwickelten Gase werden durch Düsen in den Ofen eingeleitet. Da die Entzündung der Gase erst im Ofen selbst erfolgt, werden sie vollkommen zum Brennen ausgenutzt, und damit eine Ersparnis an Brennmaterial erreicht; dazu kommt noch, daß die mit den Gasen gemischte Luft durch den fertig gebrannten aber noch heißen Kalk hindurchströmt und dadurch stark vorgewärmt wird, was die Verbrennung wesentlich erleichtert.



69. Kanal- oder Ringofen.

Eine ähnliche Form des Schachtofens, nur mit dem Unterschiede, daß die Feuerung hier eine direkte oder Halbgas-Feuerung ist, stellt Abb. 68 dar. Es ist das der sogenannte Rüdersdorfer Kalkofen, welcher sehr weite Verbreitung gefunden hat. Bei diesem Ofen wird der Schacht durch Mauern d d und e e gebildet,

deren Zwischenraum mit Asche ausgefüllt ist, um den Mauern ein gleichmäßigeres Ausdehnen zu ermöglichen. Der Rüdersdorfer Ofen hat dann um den eigentlichen Schacht noch einen gemauerten Mantel AA, um die erforderlichen Arbeits- und Vorratsräume um den Ofen zu schaffen. Die Feuerungen H befinden sich kreisförmig zu drei oder fünf rings um den Ofen in etwa 4 m Höhe über der Schachtsohle B. Sie führen durch die Füchse bb in das Innere des Ofens. Unterhalb des Rostes liegt bei i der Aschenraum, der mit einem größeren Aschenbehälter E in Verbindung steht. Die Entleerung des gebrannten Kalkes erfolgt von der Kammer F aus durch die Öffnungen a.

Während bei diesen Öfen der Kalk oben aufgegeben und unten abgezogen wird, sich also dem Feuer entgegen bewegt, gibt es auch kontinuierliche Öfen, in welchen der Kalk liegen bleibt und das Feuer vorschreitet. Es sind dies die sogenannten Kanal- oder

70. Ablöschen gebrannten Kalkes in Löschbänken, nahe einem Ringofen.

Ringöfen, welche aus der Ziegelindustrie übernommen sind, und von denen Abb. 69 einen typischen Querschnitt darstellt. Das Wesentliche bei diesen Öfen ist ein ringförmig gestalteter Brennkanal a, in welchen die zu brennenden Steine kommen. Er ist an verschiedenen Stellen von außen zugänglich und durch Schieber in einzelne Abteilungen (Kammern) geteilt, von denen jede durch einen unterirdischen Kanal mit dem ringförmigen Rauchsammelkanal c in Verbindung steht, der nach dem Schornstein fortwährend offen ist. Mittels luftdicht schließender Glocken kann man die Kanäle absperren und so den Zusammenhang zwischen den Abteilungen und dem Rauchsammler unterbrechen. Der Ofen ist durch Ausfüllen der Hohlräume mit Sand oder Asche vor dem Eindringen von Nebenluft geschützt. Die Befeuerung geschieht von oben mittels Einstreuens von Brennmaterial zwischen die glühenden Steine, wozu senkrechte Kanäle, Heizröhren, im Gewölbe des Ofens vorhanden sind. Je nachdem man den Brennkanal durch Schieber absperrt und die Glocken schließt oder öffnet, kann man in einem Teile des Ofens Kalk brennen, die abziehenden Gase zum Vorwärmen der eben frisch eingesetzten Steine in einem anderen Teile des Ofens benutzen, in einer dritten Kammer neue Steine einsetzen und eine vierte, fertig gebrannte und bereits abgekühlte ausleeren. Die Ringöfen haben sich für eine tägliche Kalkproduktion bis zu 100 Tonnen bewährt.

Das Löschen des Kalkes.

Um den gebrannten Ätzkalk für die Mörteltechnik verwendbar zu machen, muß er gelöscht werden. Taucht man ein Stück gebrannten Kalk so lange in Wasser, als noch Blasen aus ihm aufsteigen, so erhitzt sich der Kalk nach kurzer Zeit sehr stark, entwickelt Wasserdampf, schwillt an und zerfällt zu einem weißen feinkörnigen Pulver von 2,3 spezifischem Gewicht, wobei dieses Pulver das $2\frac{1}{2}$—3fache von dem Raume des ungebrannten Kalkes einnimmt. Diesen Vorgang nennt man das Löschen des Kalkes. Das ursprünglich und mechanisch festgehaltene Wasser verbindet sich hierbei chemisch mit dem Kalk zu Kalkhydrat oder Calciumhydroxyd (gelöschtem Kalk). Hundert Gewichtsteile Ätzkalk brauchen etwa 32 Gewichtsteile Wasser zur Bildung von Kalkhydrat. Die Verwandtschaft des Ätzkalkes zu Wasser ist eine so große, daß der Kalk, selbst wenn man ihn mit Eis zusammenbringt sich noch bis auf 100° erhitzt und sich das erzeugte Kalkhydrat erst wieder bei Rotglühhitze zerlegen läßt. Die Volumenvergrößerung des Ätzkalkes beim Löschen, das Gedeihen des Kalkes, erklärt man dadurch, daß durch die frei werdende Wärme ein Teil des Wassers sehr plötzlich verdampft wird und dadurch die Kalkteilchen derart in ihre Moleküle zersprengt werden, daß sie einen weit größeren Raum ausfüllen. Der Kalk kann demnach nicht gedeihen, wenn man die Wärmeentwickelung beim Löschen verhindert. Muß der Ätzkalk weit transportiert werden, so sind besondere Vorkehrungen zu seiner Erhaltung zu treffen, er muß sorgfältig vor dem Zutritt von Luft und Feuchtigkeit geschützt werden, damit er nicht vorzeitig teilweise ablöscht und dadurch an Wert verliert. Am besten stürzt man ihn in trockene Gruben. Die obere Schicht zerfällt dann bald, nimmt Kohlensäure aus der Luft auf und bildet so eine Schutzschicht für den unten liegenden Ätzkalk.

Verwendet man zum Ablöschen des Kalkes eine größere Menge Wasser, etwa 50%, so entsteht ein weißer Brei, der um so stärker aufquillt, je fetter der Kalk und je reiner der Kalkstein gewesen ist. Bei vorsichtigem Löschen gibt 1 cbm fetter Kalk etwa 2,7 cbm und 1 cbm magerer Kalk etwa 1,8 cbm Kalkbrei. Das Ablöschen des gewöhnlichen Luftkalkes zu Brei wird in den Mörtelwerken und auf den Baustellen in sogenannten Löschbänken ausgeführt, in welche der stückenförmige Ätzkalk geworfen und mit Wasser übergossen wird, wobei man ihn mit eisernen Krücken umrührt. Die entstehende Kalkmilch läßt man in die Kalkgruben einlaufen, wo die etwa noch vorhandenen Ätzkalkteilchen sich nachlöschen und das überflüssige Wasser verdunstet oder in den Boden absickert. In solchen gut vor Luftzutritt geschützten Kalkgruben hält sich der Kalk sehr lange Zeit. Er ist zum Baumörtel verwendbar, wenn der speckige Brei breite Risse aufweist.

Mörtelbereitung.

Der gelöschte Kalk, das pulverförmige oder das breiförmige Kalkhydrat, wird erst durch die Kohlensäure der Luft zum Mörtelbildner gemacht.

Der feuchte Kalkbrei absorbiert begierig Kohlensäure und bildet sich in kohlensauren Kalk zurück. Er erhärtet mit Sand gemischt verhältnismäßig schnell und bildet so unseren bekannten Luftmörtel. Die Gegenwart des Sandes ist nötig, um die Angriffsfläche für den gewissermaßen einen Kitt bildenden Kalk zu vergrößern und das Eindringen der Luft in das Innere des Mörtels zu erleichtern. Anfangs findet nur ein leichtes Festwerden des Mörtels (Anziehen oder Abbinden des Mörtels) vorzugsweise infolge Verdunstung der Feuchtigkeit und Druck der Bausteine statt. Die eigentliche Erhärtung ist ein von der Menge der Kohlensäure abhängiger chemischer Prozeß. Während der Kohlensäure-Aufnahme wird das chemisch gebundene Wasser wieder frei; es ist das ein Grund für das Feuchtwerden der Wohnungen in neugebauten Häusern, denn die Menschen atmen eine große Menge Kohlensäure aus, die sich mit dem Kalk zu Calciumkarbonat verbindet und das Wasser austreibt.

Zum Festwerden des Mörtels wirken noch einige andere chemische Einflüsse mit, nämlich die Verwandtschaft des Kalkes zu der Kieselsäure der Sandkörner, welche auf der Oberfläche der Sandteilchen eine dünne Schicht Kalksilikat bildete. Die Bildung

71. Sandentladestelle der Vereinigten Berliner Mörtelwerke in Niederschönweide.

72. Sandstapelplatz der Vereinigten Berliner Mörtelwerke in Niederschönweide.

dieses Kalksilikates findet indessen nicht immer statt, sondern scheint von besonderen Umständen abzuhängen, sie geht zuweilen schnell, zuweilen langsam vor sich.

Bei der chemischen Untersuchung verschiedener Mörtel hat sich herausgestellt, daß in einigen Fällen schon in jungen Mörteln sich ein kieselsaures Kalksalz gebildet hatte, während andererseits sehr alte und gut erhärtete Mörtel fast keinen kieselsauren Kalk enthielten. Gewöhnlich verwendet man auf 1 cbm steifen Kalkbrei aus Fettkalk 3—4 cbm reinen Sand; magerer Kalk kann nur mit 1—1¼ cbm Sand vermischt werden. Guter, scharfer Sand ist ein Haupterfordernis für einen guten Mörtel. Matter Sand, d. h. solcher, dessen Körner nicht scharfkantig und rein von erdigen Bestandteilen sind, gibt niemals einen guten Mörtel; dieser bleibt bröcklig und locker. Vielfach mischt man dem Mörtel gut gereinigtes Kuhhaar bei, um ihn gewissermaßen zu verfilzen und damit zäher zu machen.

Seit alter Zeit hat man die Mörtelbereitung auf der Baustelle vorgenommen, indem man den Brei aus der Kalkgrube in der Mörtelmulde direkt mit dem Sand vermischte. Der beschränkte Raum auf den Baustellen unserer Großstädte und der außerordentlich große Mörtelverbrauch für die modernen Riesenbauten haben indessen seit einigen Jahren besondere Fabriken, Mörtelwerke, entstehen lassen, welche die Herstellung des Mörtels im großen auf maschinellem Wege bewirken. In großen Kähnen oder mit Eisenbahn und Fuhrwerk wird der Sand von weit her angefahren, Becherwerke und Transportbänder heben ihn auf das Grundstück der Mörtelfabrik, wo auch der Ätzkalk in besonderen Rührwerken abgelöscht wird. Durch Schnecken und Paternosterwerke oder auch durch Pumpen werden Kalkbrei und Sand oder der schon zu Kalkmilch verdünnte Brei in die oberen Etagen gehoben, von wo sie im richtigen Mischungsverhältnis in einen Mischtrog laufen. Hier bewirkt eine Mischschnecke die innige Vermischung von Kalk und Sand und treibt gleichzeitig den fertigen Mörtel zu dem Mörtelkopf hinaus in einen untergeschobenen Kastenwagen, der 2 cbm Mörtel faßt, welche direkt zum Bau befördert werden.

Diese Art der maschinellen Mörtelbereitung bildet in Berlin einen bedeutenden Industriezweig, der sich innerhalb zweier Jahrzehnte, den Bedürfnissen des Berliner Baugewerbes Rechnung tragend, aus kleinsten Anfängen zu hoher Blüte entwickelt hat. Nachdem das anfangs gegen das neue Fabrikat gehegte Mißtrauen, hervorgerufen durch die Schwierigkeit, das Mischungsverhältnis zwischen Kalk und Sand auf der Baustelle zu prüfen, geschwunden war, schlossen sich dem ersten Mörtelwerk bald mehrere andere an. Begünstigt wurde dies durch den Umstand, daß der brauchbare Sand des Baugrundes, soweit solcher überhaupt noch gefunden wurde, bei weitem nicht ausreichte, die notwendige Anfuhr des Sandes aber den Herstellungspreis des Mörtels erheblich erhöhte. Die Berliner Mörtelwerke verwenden scharfen Sand aus den Gruben des Dahmegebietes, zwischen Grünau und Niederlehme bei Königswusterhausen, und Kalk aus den Gogoliner und Groß-Strehlitzer, Harzer und westfälischen Brennereien. Um auch im Winter, wenn die Schiffahrt der Oberspree unterbrochen ist, noch genügende Sandvorräte zu haben, ist in Niederschönweide dicht vor den Thoren Berlins ein großer Sandstapelplatz angelegt worden. Der Sand wird mit Becherwerken aus den Kähnen geschöpft, Transportbänder bringen ihn in Füllrumpfe, aus denen die Hängewagen einer hohen Drahtseilbahn gefüllt werden. Diese entleeren sich automatisch an jeder gewünschten Stelle und schütten auf dem 1,8 ha großen Grundstücke hohe Sandberge auf, die nach Bedarf auf einer Hängebahn wieder abgefahren werden können.

Die vereinigten Berliner Mörtelwerke, aus dem Zusammenschluß von drei Firmen entstanden, besitzen 30 Schleppfahrzeuge, darunter 18 eiserne Kähne mit einer Ladefähigkeit von je 225 cbm Sand und 6 Schleppdampfer. Die Gesellschaft unterhält ferner einen Fuhrpark von 250 Wagen. In den Ringöfen werden jährlich rund 800 000 Zentner Stückenkalk erzeugt, während etwa 250 000 Zentner von fremden Werken bezogen werden. Insgesamt verkaufen die in Berlin bestehenden 4 Mörtelfirmen durchschnittlich jährlich 635 000 cbm Kalkmörtel im Werte von über 3 750 000 M. Sie sind bei voller Ausnutzung ihrer Anlagen imstande, bis zu 4000 cbm Mörtel, also den Bedarf für etwa 4 Millionen Steine für jeden Arbeitstag zu erzeugen, woran sich die riesige Bauthätigkeit der deutschen Reichshauptstadt ermessen läßt. Im Deutschen Reiche bestanden 1895 im ganzen 29 Mörtelwerke mit etwa 560 Arbeitern, die etwa 541 000 M. Lohn verdienten.

Hydraulische Mörtel (Wassermörtel) und natürliche Zemente.

Gewisse Kalksteine haben die besondere Eigenschaft, gebrannt und mit Wasser und Sand zu Mörtel angerührt, unter Wasser zu erhärten. Charakteristisch für diese Mineralien ist ihr Gehalt an Kieselsäure und kieselsauren Verbindungen, namentlich an kieselsaurer Thonerde, von der die besten natürlichen hydraulischen Kalke 20 bis 30 % enthalten und sich damit als Mergel charakterisieren. Wo nicht schon die Natur die geeignete Mischung im Kalk vorgenommen hat, kann man den gewöhnlichen Kalkmörtel durch geeignete Zusätze zu hydraulischem Mörtel machen. Derartige Zusätze bezeichnet man mit dem Namen „natürliche Zemente" und versteht unter diesen ganz allgemein Substanzen, welche für sich oder dem gewöhnlichen Kalkmörtel zugesetzt, einen in Wasser erhärtenden Mörtel ergeben. Den natürlichen Zementen steht der künstliche Zement, der Portland-Zement gegenüber, auf den wir weiter unten näher eingehen werden, weil er gegenwärtig der wichtigste hydraulische Mörtelbildner ist.

Wir haben also zu unterscheiden: 1. Hydraulische Kalke, d. h. Gesteine, welche nach dem Brennen in festen Stücken sich beim Befeuchten mit Wasser ablöschen und nach einiger Zeit unter Wasser erhärten (Magere Kalke); 2. Natürliche Zemente und zwar Roman-Zement (Zement-Kalk, hydraulischer Zement), der nach dem Brennen und Besprengen mit Wasser nicht zerfällt, vor seiner Verwendung daher gemahlen werden muß, dann aber mit Wasser angemengt in ganz kurzer Zeit erhärtet; oder Puzzolane (hydraulische Zuschläge), die für sich allein keinen Mörtel geben, dagegen gemahlen dem Fettkalk zugesetzt, ein hydraulisches Bindemittel ergeben, welches langsam erhärtet, mit der Zeit aber sehr fest wird; hierher gehören die Puzzolanerde und der Traß, sowie die Santorinerde; 3. Portland-Zement, ein aus Thon und kalkhaltigen Materialien innig gemischter und bis zur Sinterung gebrannter Stoff, der mehlfein zerkleinert in den Handel kommt.

Hydraulische Kalke. Das Verdienst, die ersten praktischen und wissenschaftlichen Untersuchungen über die natürlichen hydraulischen Kalke angestellt zu haben, gebührt dem englischen Ingenieur John Smeaton, dem Erbauer des berühmten Edystoneleuchtturmes vor der Bucht von Plymouth. Er verwendete einen bläulich grauen Kalkstein aus South-Wales, von dem bekannt war, daß er stärker erhärte als gewöhnlicher Kalk und den Einwirkungen des Wassers besser widerstände. Die chemische Untersuchung dieses Steines und anderer ähnlicher zeigte, daß alle Kalke, welche nach der Behandlung mit Säuren thonige Rückstände hinterlassen, gebrannt unter Wasser erhärten, während alle Kalksteine, welche nach der Auflösung in Säuren keinen Rückstand ergaben, zum Wassermörtel untauglich sind.

Von dieser Entdeckung an, welche die Irrtümer von 2000 Jahren verdrängte, nahm die Kenntnis der hydraulischen Mörtelbildner schnell an Umfang zu. Man überzeugte sich, daß das Brennen der hydraulischen Kalke mit großer Vorsicht gehandhabt werden muß. Je höher der Gehalt an Silikaten, um so tiefer muß die Brenntemperatur sein, damit kein Schmelzen eintritt. Geschmolzene, überbrannte Stücke löschen sich nur sehr langsam ab. Auch die Güte des hydraulischen Kalkes entspricht dem physikalischen Zustande des Kalkgesteins vor dem Brennen. Je fester und dichter das Muttergestein, einen um so dichteren und festeren Mörtel liefert auch der hydraulische Kalk. Der beste hydraulische Kalk, der in großem Maßstabe zu Seebauten Verwendung gefunden hat, ist der berühmte chaux du Teil.

Die hydraulischen Kalke haben gewöhnlich eine gelbliche Farbe, ihr spezifisches Gewicht liegt bei 2,9, ihr Glühverlust unter 8 %. Die Prüfung auf Raumbeständigkeit geschieht in Dampfdarren oder Wasserbädern von 50° C. Zeigen sich nach 6—8 Stunden an den Probestücken (kuchenartige Platten) keine Verkrümmungen, Netz- oder Kartenrisse als Folge eines allmählich verlaufenden Nachlöschprozesses kleiner Einschlüsse von überbrannten oder mangelhaft abgelöschten Kalkkörnchen, so ist das Material frei von schädlichem Treiben.

Zement.

Natürliche Zemente.

Unter den natürlichen Zementen steht der **Roman-Zement** dem eigentlichen hydraulischen Kalk am nächsten. Er wurde dem Engländer James **Parker** im Jahre 1796 patentiert und zuerst dargestellt durch Brennen von Kalknieren, die sich in der über der Kreide liegenden Thonschicht an den Ufern der Themse finden. Von Farbe hellbraun, etwas ins Gelbliche spielend, erhielt dieser Mörtel den Namen Roman-Zement, um damit anzudeuten, daß dieser neue Mörtel ebenso vortrefflich als Wassermörtel geeignet sei, wie der Puzzolanmörtel der alten Römer.

Die Kalknieren sind solche oben schon erwähnte Konkretionen, die neben Calciumkarbonat 23—26% Thon enthalten und auch Septarien genannt werden. Sie finden sich außer an der Themse auch in anderen Teilen Englands, namentlich in Yorkshire und auf der Insel Sheppey. Seit 1802 werden sie auch in Frankreich bei Boulogne zur Bereitung von hydraulischem Kalk verwendet. In Deutschland haben wir ähnliche Kalksteinnieren in der Nähe von Nürnberg, bei Kulmbach in Oberfranken und im nördlichsten Teil der Insel Rügen.

Das charakteristische Unterscheidungsmerkmal des Roman-Zementes vom Portland-Zement ist ein gewisser Prozentsatz an freiem Ätzkalk. Die Brenntemperatur darf für den Roman-Zement nicht bis zur Sinterung gesteigert werden, weil sonst die Raumbeständigkeit verloren geht. Das spezifische Gewicht des hellgelb gefärbten Pulvers ist etwa 2,7. Auch der Roman-Zement wird in der Dampfdarre oder im warmen Wasser von etwa 75° C. auf Raumbeständigkeit geprüft. Er muß trocken und möglichst unter Luftabschluß gelagert werden, da er begierig Kohlensäure aufnimmt und dadurch zersetzt wird. Roman-Zement ist deshalb nicht zu weiten Transporten geeignet.

Puzzolane (hydraulische Zuschläge), welche gleich dem Kalk die Eigenschaft haben, im Wasser zu erhärten, sind zumeist natürliche Produkte. Die Puzzolanerde, eigentlich Puzzuolanerde (Pulvis puteolus), nach dem Fundorte Puteoli (heute Puzzuoli) am Vesuv genannt, ist ein vulkanisches Tuffgestein von körniger, wenig poröser Struktur, von welchem die Römer schon lange vor unserer Zeitrechnung zu ihren Wasserbauten Anwendung gemacht haben. Sie war lange Zeit hindurch das einzige und ist noch heute ein ausgezeichnetes Material zur Bereitung von Wassermörtel. Sie wird in der Nähe von Neapel in großen Mengen gewonnen. Auch Bassano bei Torre del Greco und Monte Nuovo produzieren ein sehr gutes Material. Die besseren Sorten besitzen eine dunkelbraune Farbe. Die in der Nähe von Rom und im Albanergebirge gewonnene rötlich-violette oder schwarz-graue Puzzolanerde verwendet man an Stelle von Sand zu Luftmörtel, da in der Nähe von Rom guter Sand schwer zu beschaffen ist. Der Puzzolanerde ähnliche vulkanische Produkte finden sich auch in Frankreich, in der Auvergne. Die Puzzolanerde verliert beim Erhitzen Wasser und läßt sich durch starke Salzsäure ziemlich vollständig zersetzen.

Einen der Puzzolane ähnlichen Tuffstein entdeckten die Römer in Deutschland am Rhein. Ob sie ihn schon für Wasserbauten benutzten, ist nicht bestimmt festgestellt. Als sicher kann angenommen werden, daß am Ende des 17. Jahrhunderts dieses Gestein bereits in großer Menge zu hydraulischem Mörtel verwendet wurde. Ein Holländer, van Santen, soll im Jahre 1682 diesen Tuffstein vermahlen und in Holland vielfach zur Bereitung von Wassermörtel verwendet haben. Von Holland aus verbreitete sich dieses im gemahlenen Zustande Traß genannte Tuffgestein über Frankreich, England und Deutschland. Heute sind die Hauptfundstätten des Tuffsteins die Thäler der Nette und der Brohl, zweier Nebenflüsse des Rheins, die ihren Ursprung in den östlichen Abhängen der Eifel in der Gegend des Laacherseees finden und bei Andernach und Brohl in den Rhein münden. Der Tuffstein, das Produkt erloschener Vulkane, wird hier namentlich in den Dörfern Plaidt, Kruft, Kretz, Tönißstein, Waibern u. s. w. im Tagebau gewonnen und an Ort und Stelle zu Pulver vermahlen. Man nimmt an, daß der Tuffstein aus den staubförmigen Auswurfmassen früherer Vulkane besteht, welche im Laufe der Zeiten in den unteren Schichten zu festem Gestein geworden sind, während die jüngeren oberen

Schichten weniger fest und von vulkanischer Asche überlagert sind. Der echte älteste Tuffstein hat etwa die Härte eines gut gebrannten Ziegels, ist porös, von scharfkantigem Bruch und von bläulicher, zuweilen ins Gelbliche spielender Farbe. Die dunklen Schichten sind höher geschätzt als die hellen, die harten Steine mehr als die weicheren der oberen Schichten, welche auch Knuppen, Tauch genannt werden und mit Bimsstein und Thonschiefer gemengt sind. Die vulkanische Asche der obersten Schichten heißt wilder Traß (Bergtraß) und bildet ein lockeres, weißlich-graues Pulver, das viel geringere, hydraulische Eigenschaften besitzt als das aus festem Stein gemahlene Pulver und zur Verfälschung des Traßmehles benutzt wird. Man bezieht deshalb der Sicherheit wegen den Traß meist in Stücken, die erst auf der Baustelle mit Kalkbrei zusammen vermahlen werden, oder man überwacht das Mahlen der Tuffsteine in der Traßmühle. Auch der Traß verliert wie die Puzzolanerde beim Erhitzen Wasser und ist in Salzsäure zum größten Teile löslich.

Santorinerde ist ein von den griechischen Inseln Santorin, Therasia und Asproniſi stammendes vulkanisches Tuffgestein und unterscheidet sich von dem rheinischen Traß und der römischen Puzzolanerde äußerlich nur durch geringere Festigkeit und Dichtigkeit. Dagegen ist sie durch ihren bedeutenden Gehalt an freier amorpher Kieselerde ausgezeichnet und auch weniger leicht von Säuren zersetzlich. Sie ist im wesentlichen ein Gemenge von verschiedenen zersetzten Kieselfossilien.

Alle drei vulkanische Tuffgesteine, Puzzolanerde, Traß und Santorinerde, gehören, wenn sie auch als Konglomeratbildungen von sehr wechselnder Zusammensetzung sind, offenbar der Trachytformation an. Alle drei enthalten chemisch gebundenes Wasser und aufgeschlossene Kieselsäure. Hierauf beruht im wesentlichen das Erhärten des mit diesen Zuschlägen angerührten Kalkmörtels, indem sich hierbei auf nassem Wege, also auch unter Wasser, eine Verbindung von Kalk und Kieselsäure vollzieht.

Als Zuschläge zu gewöhnlichem Kalkmörtel können ihres Gehaltes an löslicher Kieselerde wegen fast alle vulkanischen Gesteine (Lava, Basalttuff u. s. w.) oder andere nicht vulkanische, natürliche Produkte (Opal, Chalcedon u. s. w.) angewendet werden. Außer diesen gibt es aber eine ganze Reihe künstlicher Puzzolane, zu denen Wasserglas, Hochofenschlacke, Ziegelmehl, gebrannter Alaunschiefer, Steinkohlenasche u. s. w. gehören. Namentlich die Hochofenschlacken sind in neuester Zeit wiederholt zur Darstellung eines Wassermörtels und auch als Beimischung zum Portland-Zement verwendet worden. Eine Mischung von pulverförmigem, nach dem Benässen von Ätzkalk an der Luft zerfallenem Kalkhydrat mit granulierter Hochofenschlacke, die auf Kugelmühlen noch fein gemahlen wird, kommt unter dem Namen Puzzolan-Zement in den Handel. Geeignet hierfür sind indes nur solche Schlacken, welche in ihrer Zusammensetzung den natürlichen Puzzolanen nahestehen, d. h. etwa 50—60 % Kieselerde und 15—20 % Thonerde enthalten.

Eine so große Anwendung nun die natürlichen Zemente im Wasserbau früher hatten und die Zumischmittel aus ökonomischen Gründen in neuerer Zeit gefunden haben, so ist sie doch durch die zunehmende Verarbeitung natürlicher Gesteine zu hydraulischen Kalken und zu Portland-Zement zurückgedrängt und im wesentlichen nur noch für die Fundorte und deren nächste Umgebung von größerer Bedeutung geblieben. Nur der Traß, der in Verbindung mit Kalk und Sand einen ausgezeichneten, auch im Seewasser haltbaren Mörtel liefert, macht heute selbst dem Portland-Zement erhebliche Konkurrenz.

Portland-Zement.

Der Portland-Zement ist unstreitig der vornehmste unter den Mörtelbildnern.

Wer als ein Laie auf dem Gebiete der Baumaterialienkunde zum erstenmal den unscheinbaren, graugrünen Staub, den wir Portland-Zement nennen, vor sich sieht, gewinnt schwerlich eine Vorstellung von dem, was dieser Baustoff zu leisten vermag. Wer sollte unter dieser dürftigen Außenseite den Repräsentanten einer mächtigen Industrie vermuten, die Tausenden von Arbeitern in Deutschland und im Auslande Nahrung gibt?

Als der Gedanke, die englische Erfindung der Portland-Zement-Fabrikation für Deutschland nutzbar zu machen, zuerst auftauchte, da war die Entwickelungsfähigkeit dieser Industrie kaum zu ahnen.

Schon im Jahre 1824 hatte Joseph Aspdin in Leeds durch starkes Brennen einer bestimmten Mischung von gelöschtem Kalk und Thon einen hydraulischen Kalk erzeugt, den er wegen seiner Ähnlichkeit in Farbe und Festigkeit mit dem in England damals sehr geschätzten Portlandstein „Portland-Zement“ nannte.

Das englische Fabrikat fand bald in Deutschland Eingang und galt lange Zeit als unübertrefflich. Erst im Jahre 1852 lenkte das Vorkommen des Septarienthones in Pommern an beiden Oderufern die Aufmerksamkeit auf sich und wurde von Dr. Hermann Bleibtreu aus Bonn als ein geeignetes Material für die Zementfabrikation erkannt. Derselbe veranlaßte in Gemeinschaft mit Konsul Gutike in Züllchow bei Stettin 1852 die Anlage einer kleinen Fabrik zu Versuchszwecken, die im Jahre 1855 zur Gründung der ersten Stettiner Portland-Zement-Fabrik (Lossius & Delbrück) auf dem Grundstück der noch jetzt bestehenden Fabrik in Züllchow führte. Dort wurde in Deutschland der erste Portland-Zement aus Stettiner Septarienthon und Kreide von der Insel Wollin hergestellt, der an Güte dem englischen Fabrikat gleichkam und sich bald derart Eingang verschaffte, daß die Jahresproduktion von 30 000 Faß ohne besondere Schwierigkeit abgesetzt werden konnte. Dieser Erfolg spornte zur Nacheiferung an, und bald entstanden kurz nacheinander die noch heute in großem Maßstabe bestehenden Fabriken bei Bonn, Lebbin, Oppeln, Lüneburg, Amöneburg, Finkenwalde und andere. Im Jahre 1877 bestanden in Deutschland bereits gegen 30 deutsche Portland-Zementfabriken, die sich im Anfange ihrer Produktion eng an englische Vorbilder und Muster anlehnten. Gegenwärtig ist die Methode der Herstellung des Portland-Zementes in den einzelnen Fabriken sehr verschieden, je nachdem die erforderlichen Rohmaterialien, kohlensaurer Kalk und Thon, als Kalkstein, Marmor, Kreide, Kalkmergel, Wiesenkalk bezw. als Thon und Thonmergel verschiedenartigster Zusammensetzung auftreten. Im allgemeinen benutzen die nach englischem Muster arbeitenden Zementfabriken das Schlämm- oder nasse Verfahren.

Auf eine nur einigermaßen erschöpfende Schilderung der chemischen Eigenschaften des Portland-Zementes und der Entwickelung der Fabrikationsmethoden, des Formens, Trocknens, Brennens und Mahlens der Zementsteine muß hier verzichtet werden, es dürfte aber den deutschen Leser interessieren, zu wissen, in welcher Weise die Qualität des deutschen Portland-Zementes sich fortschreitend verbesserte, und wie man gerade in Deutschland eifriger als irgend anderswo bestrebt gewesen ist, auf Grund wissenschaftlicher Forschung das Wesen des Portland-Zementes zu ergründen und seine verborgensten Kräfte ans Licht zu ziehen und auszunutzen.

Bevor der deutsche Portland-Zement sich den Weltruf errang, den er heute genießt, hatte er mancherlei Schwierigkeiten zu überwinden. Von Anbeginn an war der Konkurrenzkampf mit den englischen Fabriken kein leichter. Die niedrigen Seefrachten und der Großbetrieb in der Heimat des Portland-Zementes zogen fortwährend große Mengen des englischen Erzeugnisses nach den deutschen Küstenplätzen, und die zur Hebung des Verkehrs der Hafenplätze erlassenen Eisenbahntarife begünstigten die Einfuhr eines großen Teiles desselben bis weit ins Binnenland hinein. Namentlich an den großen Küstenplätzen der Nordsee machte sich bei der relativen Entlegenheit der deutschen Portland-Zementfabriken der englische Mitbewerb stark geltend. Ein weiteres Hindernis bot sich dem siegreichen Vordringen deutschen Portland-Zementes im Inlande in dem vielfach gehegten Vorurteil, welches dem ausländischen Produkte den Vorzug vor dem heimischen einräumte und welches zu überwinden erst der durch fortwährenden Wettkampf angespannten und lebendig erhaltenen Anstrengung der deutschen Fabriken, den vervollkommneten Fabrikationsmethoden und der unablässigen wissenschaftlichen Arbeit vieler forschender Kräfte, die sich in den Dienst dieser Industrie gestellt haben, gelang. Heute besitzt jede größere deutsche Zementfabrik (im Gegensatz zu England) einen oder mehrere wissenschaftlich gebildete Chemiker zur ständigen Untersuchung der Rohstoffe, der Zwischenprodukte und des fertigen Fabrikates.

Neben den mit großen Machtmitteln kämpfenden englischen Fabriken waren es auch die Fabriken kontinentaler Nachbarländer, namentlich Österreichs und der Schweiz, deren wenn auch minder mächtiger Wettbewerb doch überwunden werden mußte, und schließlich erstand dem Portland-Zement in Deutschland selbst der schlimmste Feind. Gewohnheit,

Herkommen und der anscheinend billigere Preis führten zur Verwendung geringerer Mörtelmaterialien. Die üblen Eigenschaften schlechten Portland-Zementes, verbunden mit den Bedenken, welche aus der nicht selten hervortretenden Unsicherheit des Bauenden über die zur Erkennung schlechten Zementes dienenden Mittel entspringen, waren Anlaß, daß statt des besten Materiales weniger leistungsfähige und dieserhalb auch teurere Zementsorten in Gebrauch genommen wurden und ein tiefes Mißtrauen gegen den Portland-Zement nicht nur bei dem bauenden Publikum, sondern sogar bei Behörden hervorriefen. Aller dieser Hindernisse ungeachtet, nahm doch die deutsche Portland-Zement-Industrie ein rasches Wachstum an, wie nachstehende Tabelle erkennen läßt, der die jährlich stattfindenden Selbsteinschätzungen der deutschen Mitglieder des Vereins deutscher Portland-Zementfabriken zu Grunde liegen, die den weitaus größten Teil der deutschen Portland-Zementproduktion repräsentieren.

Jahr	Anzahl der Fabriken	Jahresproduktion in Fässern zu 170 kg netto	Jahr	Anzahl der Fabriken	Jahresproduktion in Fässern zu 170 kg netto
1877	29	2 400 000	1890	60	9 150 000
1882	32	3 050 000	1891	60	9 950 000
1883	34	4 000 000	1892	64	10 900 000
1884	37	4 700 000	1893	64	11 500 000
1885	42	5 000 000	1894	61	11 650 000
1886	42	5 700 000	1895	63	12 500 000
1887	45	7 050 000	1896	63	13 150 000
1888	52	7 950 000	1897	66	14 950 000
1889	60	8 800 000			

Genauere Zahlen, welche ein getreues Bild der Entwickelung der deutschen Zement-Industrie in den letzten Jahren geben, liegen erst seit Einführung des Unfallversicherungsgesetzes und der Gründung der Berufsgenossenschaften vor. Nach dem amtlichen Material der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft, welcher die deutschen Zementfabriken zugeteilt sind, hat diese Industrie eine Entwickelung genommen, welche sich in folgender Tabelle ausdrückt.

Jahr	Anzahl der Zementfabriken	Anzahl der Vollarbeiter*) zu je 300 Arbeitstagen	Gezahlte Löhne in Mark	Jahr	Anzahl der Zementfabriken	Anzahl der Vollarbeiter*) zu je 300 Arbeitstagen	Gezahlte Löhne in Mark
1886	124	11 883	8 263 437	1892	151	18 390	14 321 797
1887	121	13 610	9 555 614	1893	144	18 408	14 491 076
1888	146	15 352	11 108 539	1894	139	18 257	14 140 263
1889	149	16 388	12 294 665	1895	137	18 656	14 729 909
1890	159	19 174	14 839 656	1896	135	21 101	17 030 196
1891	158	19 503	15 166 627				

Seit dem Jahre 1890/91 sind infolge des immer stärker werdenden Konkurrenzkampfes mehrere der kleineren Fabriken eingegangen, während die größeren fast durchweg ihre Produktion vermehrt haben. Der Rückgang in der Zahl der Vollarbeiter und der Löhne nach 1891 findet seine Erklärung in der Verbesserung der Fabrikationsmethoden und dem mehr und mehr stattfindenden Ersatze der Handarbeit durch Maschinenkraft.

Ein so schnelles Anwachsen einer verhältnismäßig jungen Industrie wurde nur ermöglicht durch den Umstand, daß die Kenntnis von der Gebrauchsfähigkeit des Portland-Zementes sich im Inlande sehr schnell verbreitete und der inländische Bedarf somit größer und größer wurde, und daß es der deutschen Ware gelang, allen Hindernissen zum Trotz sich große ausländische Absatzgebiete zu sichern. Hierzu mußte zum großen Teile die unparteiische Anerkennung der Güte deutschen Portland-Zementes seitens namhafter Autoritäten beitragen. Mr. Henry Reid, Verfasser von „The Science and Art of the Manufacture

*) Der Begriff der „Vollarbeiter" ist ein in der berufsgenossenschaftlichen Statistik gebräuchlicher. Man berechnet die Zahl der Vollarbeiter, indem man die Summe der von allen wirklich beschäftigten Arbeitern geleisteten Arbeitstage durch die Zahl 300, als die Zahl der im Jahre üblichen Arbeitstage dividiert.

of Portland Cement", einer der bedeutendsten Zementexperten Englands, zollt schon im Jahre 1879 dem deutschen Portland-Zement hohes Lob und fordert die englische Zement-Industrie auf, der deutschen nachzueifern. Im Inlande konnte Geheimer Regierungsrat Professor Dr. Reuleaux bei Gelegenheit des Berichtes über die australische Weltausstellung in Sydney erklären: „Der deutsche Zement war unbestritten der beste." Heute erstreckt sich der Absatz des deutschen Zementes außer auf die europäischen Nachbarländer des Deutschen Reiches zum größeren Teil auf überseeische Länder in allen Weltteilen. Regelmäßige Abnehmer bilden die um die Ostsee gruppierten fremden Länder, alsdann das südliche Rußland, die Schweiz, sowie Belgien und Holland. Der Absatz in europäischen Ländern bleibt aber wahrscheinlich gegen denjenigen nach überseeischen Ländern zurück. Unter diesen sind es namentlich die Vereinigten Staaten von Amerika, welche ein Hauptabsatzgebiet für deutschen Portland-Zement bilden, demnächst die Länder des Stillen Ozeans, insbesondere die größeren Hafenplätze des australischen Kontinentes, sowie Japan und China.

Mit der wachsenden Ausdehnung des deutschen Zementhandels mußte naturgemäß das Bestreben nach fortwährender Verbesserung der Produktion Hand in Hand gehen, namentlich auch weil es galt, im Inlande nicht nur das mühsam errungene Feld zu behaupten, sondern der wachsenden Produktion gemäß die Konsumtion durch Erschließung neuer Arbeitsgebiete zu vermehren.

Dazu war es unumgänglich notwendig, die Kenntnis der Eigenschaften des Zementes und die Kenntnis der richtigen Benutzung und Verarbeitungsweise desselben, sowie dessen, was notwendig ist, um sich die Vorteile des Zementbaues ganz und voll zu sichern, in immer weitere Kreise zu tragen. Dies zu erstreben ist die Hauptaufgabe des im Jahre 1877 begründeten Vereins deutscher Portland-Zement-Fabrikanten gewesen, welchem mit vereinzelten Ausnahmen alle großen deutschen Fabriken sich angeschlossen haben und dem außer 66 deutschen Mitgliedern im Jahre 1898 noch 10 österreichische Portland-Zementfabriken und 7 in anderen europäischen und außereuropäischen Ländern mit einer Gesamtproduktion von 17 150 000 Faß oder rund 2916 Millionen Kilogramm, angehören.

Bis zum Jahre 1878 fehlte es vollständig an einheitlichen Methoden zur Beurteilung des mechanischen Verhaltens der Zemente. Dem Verein deutscher Portland-Zementfabrikanten gelang es, eine Reihe von Beschlüssen dem Königlich preußischen Ministerium für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten vorzulegen, die von diesem als „Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Zement" den Baubehörden mittels Erlasses vom 10. November 1878 für das Königreich Preußen mitgeteilt und später auch von den übrigen preußischen Ministerien und den übrigen deutschen Staaten angenommen wurden. In jene Entwickelungsepoche fällt die erste Konferenz von Interessenten der Baumaterialkunde, später die „Münchener Konferenz" genannt, welche im Herbste 1884 der Professor Bauschinger zwecks nutzbringender Verwertung der von verschiedenen Versuchsstätten gefundenen Ergebnisse der Materialprüfungen für die Technik nach München zusammenrief. Diese erste von 79 Teilnehmern aus Deutschland, Österreich-Ungarn, Rußland und der Schweiz besuchte Konferenz hatte bald eine zweite im Jahre 1886 zu Dresden zur Folge. Die auch für die Prüfung des Portland-Zementes wichtigen „Beschlüsse über einheitliche Untersuchungsmethoden bei der Prüfung von Bau- und Konstruktionsmaterialien auf ihre mechanischen Eigenschaften" trugen die Kenntnis des Prüfungswesens durch die ganze Welt und fachten das Interesse an diesen Dingen auch in den sich bisher ablehnend verhaltenden Kreisen an. Bereits im Jahre 1886 wurde teilweise mit Benutzung der Münchener Beschlüsse eine Revision der „Normen" beendigt und wurden die „revidierten Normen" mittels Erlasses vom 28. Juli 1887 vom Minister der öffentlichen Arbeiten in Preußen eingeführt. Die Königliche Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin, jetzt die Abteilung für Baumaterialprüfung der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg gilt als entscheidende Instanz für alle das Zement-Prüfungswesen betreffenden Fragen.

Was den wissenschaftlichen Standpunkt der gesamten Zementtechnik betrifft, so hat Deutschland zweifellos die erste Stelle unter allen Ländern, welche Zement in nennenswerten Mengen erzeugen, sich verschafft, und sein Beispiel hat zu gleichartigem Vorgehen in anderen Ländern Veranlassung gegeben. Im Anschluß an die deutschen „Normen" sind später in Österreich, der Schweiz, in Rußland und in Frankreich ebenfalls Normen erlassen worden, die mit den deutschen allgemein in naher Übereinstimmung stehen.

In anderen Ländern, in welchen ein größerer Verbrauch von Zement stattfindet, bestehen feste und umfassende Normen, wie die deutschen, bisher nicht; man hält sich dort an gewisse Regeln, welche durch Tradition und Weiterentwickelung im Laufe der Zeit zu allgemeiner Anerkennung gelangt sind. Hierzu trug namentlich die dritte Konferenz, welche im Herbst 1890 zu Berlin aus Fachleuten aller Länder zusammentrat, wesentlich bei.

Die Beschlüsse dieser Konferenz sind durch die vierte im Jahre 1893 in Wien abgehaltene Zusammenkunft aller Festigkeitstechniker noch vervollständigt worden, haben aber eine gewisse internationale Bedeutung erst im Jahre 1895 durch die Zusammenkunft in Zürich erlangt, wo zum erstenmal in größerer Zahl Vertreter aller Kulturstaaten den Verhandlungen beiwohnten und wo der „Internationale Verband für die Materialprüfungen der Technik" aus den bisher freien Zusammenkünften hervorging, der seinen ersten, von allen Kulturstaaten Europas beschickten Wanderkongreß im Jahre 1897 in Stockholm abhielt.

Indem die deutschen Normen Prüfungsgesetze für die Fabrikanten bildeten, wirkten sie als Sporn zur Strenge gegen sich selbst und drängten dadurch zu immer weiterer Vervollkommnung des Fabrikates, welche ganz überwiegend dem Publikum zu gute gekommen ist.

Die Thatsache,

> daß heute sämtliche deutschen Zementfabriken, welche dem Verein angehören, ein Erzeugnis liefern, welches in seinen Haupteigenschaften nicht unter einer gewissen, dem Zwecke des Materials vollauf genügenden Grenze liegt,

ist eine in der Großindustrie nur selten vorkommende und vom Standpunkte der Konsumenten hoch willkommen zu heißende, denn sie gewährt dem Käufer Sicherheit für die Möglichkeit des Bezuges einer Ware von dem notwendigen Gleichmäßigkeitsgrade an jedem Orte und zu jeder Zeit.

Hierbei ist indessen wohl zu beachten, daß die Handhabung der Prüfungsnormen keineswegs die Übereinstimmung der von den verschiedenen Fabriken erzeugten Ware und damit Verlaß auf die Güte derselben auch ohne vorherige Prüfung verbürgt, daß vielmehr für diese nur eine untere Grenze, aber keineswegs eine obere gezogen ist, und es jeder Fabrik frei steht, über die untere (Normen-) Grenze so weit hinaus zu gehen, als es die Gunst ihrer Lage, die Beschaffenheit ihres Rohmaterials und die Vollkommenheit der Fabrikationseinrichtungen ihr gestatten.

Die Güte eines Portland-Zementes ist nächst der Zusammensetzung der Rohmaterialien wesentlich von der Sorgfalt abhängig, mit welcher er hergestellt worden ist, der richtigen chemischen Zusammensetzung, dem Grade des Brandes, der Mahlung ꝛc. Die Eigenschaften, welche hierdurch einem bestimmten Portland-Zement verliehen werden, drücken sich namentlich durch die Verschiedenheit der Bindezeit, der Raumbeständigkeit, der Feinheit des Mehles, der Zug- und Druckfestigkeit aus. Die Prüfung auf diese Eigenschaften, also die Prüfung auf das mechanische Verhalten des Portland-Zementes, ist unerläßlich, wenn man sich über den Wert eines Zementes ein richtiges Urteil bilden will.

Zur amtlichen Prüfung der Zemente und anderer Baumaterialien bestehen in Deutschland und im Auslande besondere Versuchsanstalten, neben der bereits erwähnten Berliner Anstalt auch in München, Stuttgart, Zürich, Wien, die sich berufsmäßig mit diesem Zweige der Baukunde — die eine besondere Wissenschaft geworden ist — befassen. Aber auch auf Baustellen, wo Zement verwendet werden soll, muß er geprüft werden. Den Prüfungszwecken dienen besondere Apparate für die Feststellung des Erhärtungsverlaufes, (Vicatsche Nadel), der Zugfestigkeit (Michaelis Hebelapparat) und der Druckfestigkeit (hydraulische Pressen). Für die Festigkeitsversuche werden sogenannte Normalprobekörper, Zugproben mit 5 qcm Zerreißungsquerschnitt und Würfel mit 50 qcm Fläche auf besonderen Rammapparaten (Böhmes Hammer, Klebes Ramme) geformt. Sehr umfangreiche Arbeiten auf dem Gebiete der Zementprüfung, die für das gesamte Bauwesen von höchster Bedeutung geworden sind, hat namentlich die Königliche mechanisch-technische Versuchsanstalt in Berlin (früher Königliche Prüfungsstation für Baumaterialien) geliefert.

Fabrikation von Portland-Zement. Portland-Zement ist ein hydraulischer (unter Wasser erhärtender) Mörtelstoff, welcher dadurch erzeugt wird, daß man eine innige Mischung von Kalk und Thon, als wesentliche Bestandteile, bis zur Sinterung brennt und möglichst fein zu Pulver zerkleinert. Der Grad des Brandes (bis zur Sinterung) ist wesentlich, da in der Sinterung, die sich durch eine Erweichung des Rohmaterials in der Weißglühhitze zu erkennen gibt, die guten Eigenschaften des Portland-Zementes und der Unterschied desselben von den Roman-Zementen und hydraulischen Kalken begründet sind.

Die Auswahl der Thone, soweit nicht reiner Septarienthon verwendet werden kann, und das Mischungsverhältnis von Kalk und Thon (etwa 75 Prozent kohlensaurer Kalk auf 25 Prozent Thon) macht die eigentliche Schwierigkeit der heutigen Zementfabrikation aus. Demnächst ist Hauptbedingung für die Herstellung eines guten Portland-Zementes die innige, auf nassem oder trocknem Wege vollzogene Mischung derjenigen Rohstoffe,

welche beim Brennen in eine chemische Wechselwirkung zu einander treten sollen. Die beiden weiteren Abschnitte der Fabrikation, das Brennen bei sehr hohen Temperaturen (Sinterung) und das Mahlen der gebrannten Klinker, sind allen Fabrikationsmethoden gemeinsam. Die Mischung wird unzweifelhaft gegenwärtig durch das nasse Verfahren ungleich vollkommener erreicht, als durch die sogenannte Trockenmüllerei, wie sie vorzugsweise in solchen Fabriken benutzt wird, welche dichten Kalkstein und Mergel verarbeiten, doch ist nicht ausgeschlossen, daß die schnell fortschreitende Vervollkommnung der Müllereimaschinen auch hierin noch einmal Wandel schafft. In einigen Fabriken ist man zu einer Vereinigung der beiden Methoden übergegangen und benutzt das sogenannte Halbtrockenverfahren, wobei der feine Mergel und der Thon in richtiger Mischung zum Teil geschlämmt, zum Teil trocken gemischt werden, worauf beide Teile vereinigt werden, um so die jeder Methode eigentümlichen Vorzüge ausnutzen zu können. Nur ausnahmsweise finden sich in der Natur innige Mischungen von Kalk und Thon, welche unmittelbar zu Portland-Zement gebrannt werden können.

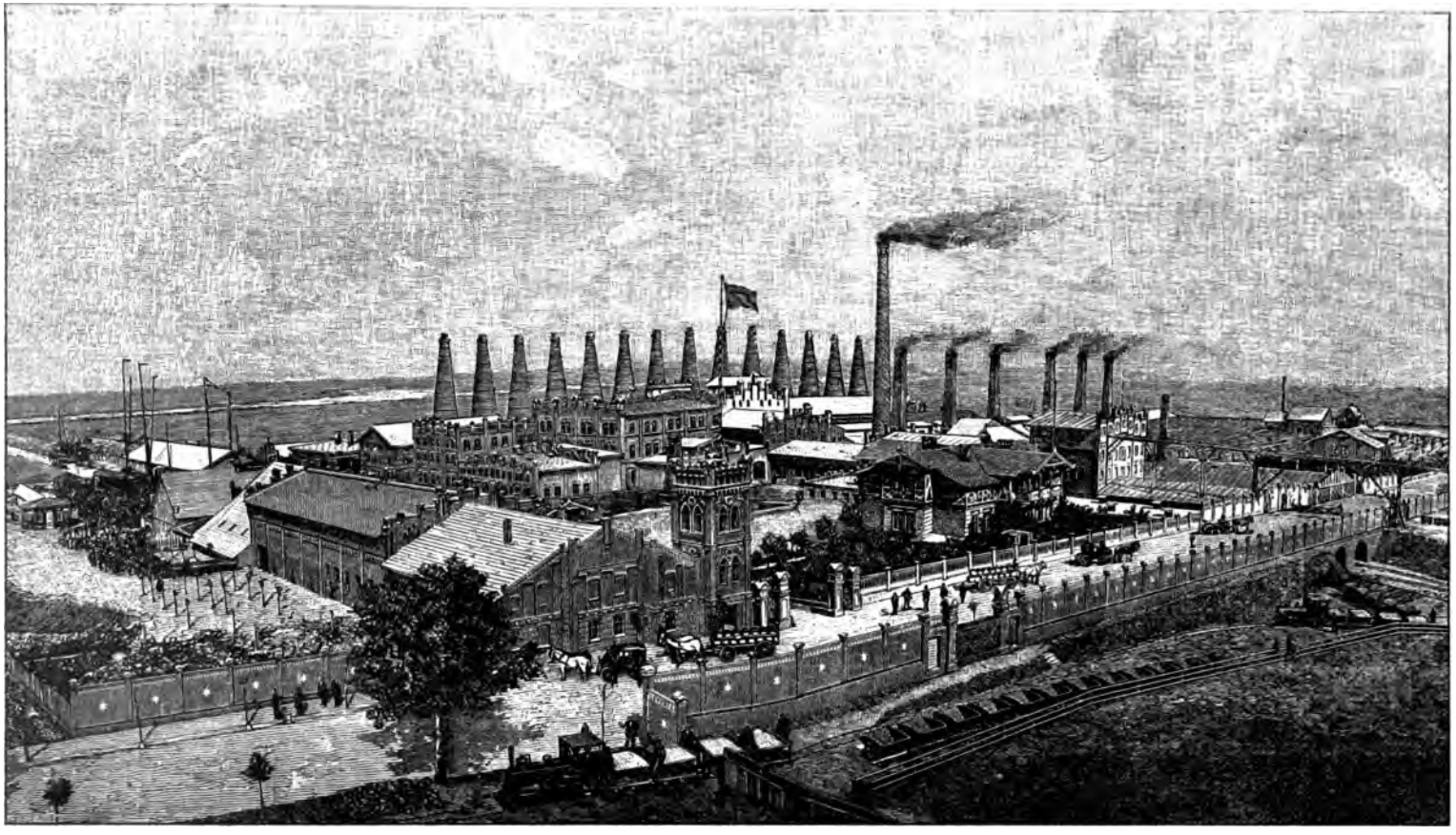
Um uns ein Bild von der fabrikmäßigen Herstellung deutschen Portland-Zementes zu machen, wollen wir den Beschreibungen zweier großer Fabriken folgen, von denen die eine auf nassem, die andere auf trockenem Wege arbeitet.

Die Portland-Zementfabrik „Stern", Töpffer, Grawitz & Co. Stettin, am Ufer eines Oderarmes in Finkenwalde bei Stettin gelegen, ist in gewissem Sinne typisch für die in Norddeutschland betriebene Zementfabrikation aus Kreide und Thon auf nassem Wege. Ihre Produkte genießen namentlich bei den Kunststeinfabrikanten weit über die Grenzen Deutschlands hinaus besten Ruf und hohes Ansehen.

An der Landstraße von Finkenwalde nach Podejuch erhebt sich sanft ansteigend eine Berglehne, welche in den bewaldeten Höhenzügen der Buchheide gipfelt und in welche die Gruben für die Gewinnung des Rohmaterials tief hineingebaut sind. Von der Straße aus führt das Geleise der Lokomotivbahn in einem Terraineinschnitt zwischen den Schlämmbassins, die ihrerseits wieder von den Abraumbergen flankiert werden, hinan durch einen Tunnel in einen weiten Kessel, die große Kreidegrube, welche sich wie ein mächtiges Amphitheater den Blicken darstellt. Bis zu 85 m Höhe erheben sich die Wände, in gleichmäßigen Ringen terrassenförmig abgebaut. Eine breite, ringförmige Fläche mit Schienengeleisen scheidet die von 10 auf 40 m Mächtigkeit wachsende Abraumwand von der Kreide, die als eine rein weiße, bröcklige Masse erscheint. Die Abraumbahn kreuzt in etwa 40 m Höhe den Kreidetunnel und führt zu dem abseits gelegenen Abraumberg, der in seinem älteren Teil mit Parkanlagen bepflanzt ist, und zum Schiffahrtskanal. Diese Anlagen bilden mit den von dem verstorbenen Kommerzienrat Töpffer geschaffenen Anpflanzungen des ehemals kahlen sandigen Bergrückens einen an die Ausläufer der Buchheide anstoßenden beliebten Ausflugsort der Stettiner. Durch den Park der Zementfabrik, vorüber an der „Grotte", einer künstlichen Tropfsteinhöhle, führt der Weg zu einem Pavillon oberhalb der Kreidegrube, von dem aus man einen herrlichen Rundblick über die im Thale liegende Fabrik mit zahlreichen Gebäuden und Schornsteinen, die vielfach gekrümmten Wasserstraßen der Oder und Reglitz, über Stettin, die unteren Ortschaften der Oder, Altdamm und den Dammschen See genießt. Hinter dem Pavillon zieht in einer Krümmung die Kreidegrube sich verengend in den Berg hinein und endet in einem höher gelegenen Becken, aus welchem die Hauptmasse des Thones gewonnen und auf einer Drahtseilbahn zu der großen Schlämmerei inmitten der Kreidegrube gefördert wird.

Die gesamte Grubensohle ist mit einem weitverzweigten Netz von schmalspurigen Geleisen belegt, die zu den Förderstellen führen und auf denen die Kreide in kleinen Eisenbahnzügen durch den beschriebenen Tunnel zur Fabrik oder zu der Schlämmerei gebracht wird. Jährlich werden 12 000 Schachtruten oder etwa 53 400 cbm Kreide und 1600 Schachtruten oder 7120 cbm Thon gefördert.

Der Umstand des Vorkommens von Kalk und Thon so unmittelbar bei einander begünstigte die Anlage der Schlämmerei in dem Bruche selbst. Dieselbe ist in einem geräumigen Fachwerksgebäude untergebracht und besteht aus fünf in Beton ausgeführten, unter dem Niveau der Grubensohle liegenden Rührbottichen, zwei getrennten Systemen



73. Portland-Zementfabrik „Stern“ in Finkenwalde bei Stettin.

von je drei Trommelsieben, die mit einem Drahtgewebe von 600 Maschen pro qcm bespannt sind, und zwei Doppelzentrifugalpumpen, welche die Schlämmmasse auf 13 m Höhe heben und durch ein Gerinne den Schlämmgruben zuführen. Die Leistungsfähigkeit der Schlämmerei beträgt 24 cbm Kreide und Thon pro Stunde.

Täglich wird sowohl Kalk wie Thon auf seine Bestandteile und auf seinen Feuchtigkeitsgehalt untersucht. Diese Untersuchungen bilden die Grundlage für die Zusammensetzung der Materialien, bei welcher der Thonzusatz stets abgewogen wird. Das Ergebnis einer derartig sorgfältigen rechnerischen Bestimmung der Rohmaterialien ist eine Schlämmmasse von ungemein großer Gleichmäßigkeit. Diese Schlämmmasse verteilt sich auf 76 Schlämmgruben, die zum größten Teil terrassenförmig an die Berglehne des Kreideberges angeschlossen, zum kleineren Teil auf dem Fabrikgrundstücke selbst in der Ebene gelegen sind und einen Flächenraum von 24883 qm einnehmen. Drahtseilbahnen befördern den Zementschlamm zur Fabrik.

Da aber die aus den Schlammgruben kommende Masse nicht steif genug ist, um direkt im Thonschneider verarbeitet werden zu können, so wird ein Teil derselben auf Koksofendarren getrocknet, auf Brech- und Walzwerken zerkleinert und trocken zum Andicken der Masse benutzt. Die weitere Verarbeitung erfolgt dann auf sieben Thonschneidern, von denen jedoch meist nur vier in Betrieb sind. Die jährliche Produktion an Massesteinen beträgt durchschnittlich 19 Millionen Stück, von welchen etwa sieben Millionen an der Luft, die übrigen auf den Darren getrocknet werden. Auf ein Faß Zement werden durchschnittlich 90 Steine gerechnet.

Koksöfen liefern den für das Brennen des Zementes in den periodisch betriebenen Schachtöfen erforderlichen Koks, für welchen ausschließlich englische Kohle verwendet wird. Für die kontinuierlich wirkenden Dietzschen Doppeletagenöfen wird gleichfalls englische Kohle, unverkokt, verwendet. Sämtliche Kohlen werden per Kahn bezogen und von dem schiffbaren Kanal der Reglitz, der tief in das Fabrikgrundstück einschneidet, durch einen hochstehenden Dampfkran mit geaichten Gefäßen gelöscht und automatisch gewogen. Dieser Betrieb ermöglicht ein leichtes Anschütten großer Mengen von Kohlen, was für die Fabrik um so mehr von Wichtigkeit ist, als sie ihren ganzen Wintervorrat an Brennmaterial aufstapeln muß, um versorgt zu sein, wenn die Wasserstraßen unpassierbar werden.

Die auf den Darren oder an der Luft getrockneten Massesteine werden auf Schmalspurgeleisen nach den Öfen befördert, von denen 15 Stück in einer Reihe nebeneinander stehen. Die Öfen sind mit sehr hohen Schornsteinen versehen und haben ein Ausbring von annähernd 200 Faß Zement à 170 kg netto. Die Brenndauer eines Schachtofens beträgt ca. 38 Stunden. Das Ausziehen der gebrannten Masse erfolgt durch Ausstoßen der horizontalen Roststäbe und Zerkleinern der stark backenden, schweren, schwarzgrünen und schlackenartigen Masse. Jeder Schachtofen wird wöchentlich zweimal benutzt, der Dietzsche Ofen wird täglich viermal gezogen und liefert etwa 125 Faß p. Tag.

Die abgekühlten Zementklinker — so heißen die unregelmäßigen, schlackenartigen Stücke des gebrannten Zementes — werden auf kleinen Lowrys zu den Fahrstühlen geschoben und nach der Mühle gebracht. Die Mühle und das dazu gehörige große Maschinenhaus befinden sich in unmittelbarer Verbindung miteinander. In der Mühle wird der sehr harte und scharf gesinterte Zement zunächst auf 5 Walzensystemen vorgebrochen und gelangt dann auf 15 Mahlgänge. Die Griese werden auf Rohrmühlen gemahlen. Zur Siebung des gemahlenen Zementes werden in der Hauptsache Schurr- und Schüttelsiebe verwendet, von denen der fertige Zement mittels Transportschnecke in große gemauerte Zisternen gelangt, welche unmittelbar an den Packraum anstoßen. Die Mühle in ihrer Gesamtheit besitzt eine Leistungsfähigkeit bis zu 1000 Faß täglich.

Die Hälfte des Zementes wird in Fässer verpackt, der Rest in Säcke, doch nimmt die Sackpackung in letzter Zeit immer mehr zu. Die Verladung des Zementes erfolgt fast ausschließlich per Wasser. Das Überladen auf die Eisenbahn und auf Stettiner Dampfer wird hauptsächlich durch der Fabrik eigen gehörige Dampfschiffe vermittelt, welche 900 bis 1000 Zementtonnen fassen. Die erforderlichen Normaltonnen werden

meist in der Fabrik in einer eigenen Böttcherei hergestellt. Für dieselben werden nur gespaltene Stäbe verwendet, welche aus Memel und aus Rußland bezogen werden. Die Böttcherei bildet einen vollständigen Fabrikbetrieb für sich. In derselben können täglich bis zu 1200 Fässer fertig gestellt werden. Der Selbstkostenpreis eines Fasses beträgt 1,25 Mark.

In der Prüfungsstation der Zementfabrik, mit der eine Fabrik von Zementröhren mit Drahtgewebeeinlage und von Platten und Kunststeinen verbunden ist, werden jährlich über 13000 Probekörper für Zug- und Druckversuche hergestellt.

Der „Stern"-Zement, dessen Erzeugung wir in vorstehendem kennen lernten, hat Verbreitung über die ganze Erde gefunden. Er zählt zu den besten deutschen Fabrikaten.

Haben wir in den vorstehenden Zeilen den Fabrikationsgang einer Fabrik kennen gelernt, die nach dem nassen Verfahren arbeitet, so wenden wir uns nunmehr einem Werke zu, in welchem das Rohmaterial völlig trocken zur Aufbereitung kommt. Auch das Portland-Zementwerk Heidelberg, vorm. Schifferdecker & Söhne in Heidelberg beansprucht besonderes Interesse, weil es den Typus einer Fabrik darstellt, die sich die allerneuesten Erfindungen und Erfahrungen bereits zu nutze gemacht hat und die — wenn sie voll im Betriebe ist — die größte deutsche Zementfabrik mit einer möglichen Jahresleistung von 1 Million Faß sein wird.

Da, wo sich das liebliche Thal des Neckar zwischen den steil anstrebenden Höhen des Heiligenberges und des Geisberges öffnet, am Ende der zwischen Berg und Fluß eingezwängten Stadt Heidelberg erhob sich früher die im Jahre 1873 erbaute Zementfabrik, die, seit dem Jahre 1889 im Besitze einer Aktiengesellschaft, im Frühjahr 1895 ein Raub der Flammen wurde. Fabrikgebäude, Lagerräume, Maschinen, Vorräte, alles wurde bis auf wenige Trümmer vernichtet. Aber wie ein Phönix aus der Asche ist die Fabrik an anderer Stelle, mehr in der Nähe der Brüche, größer und schöner neu erstanden in einer Großartigkeit der Anlage und Durchbildung des Ganzen, wie sie auf der ganzen Erde einzig dasteht. Etwa 5 km südlich von Heidelberg, am Westabhange des zu den letzten Ausläufern des Odenwaldes gehörenden Gebirgsstockes liegen die Brüche, in denen der nutzbare Kalkstein in einer Mächtigkeit von über 30 m abgebaut wird. Das Material gehört zu den mittleren und unteren Schichten der Muschelkalkformation und ist in den oberen Lagen kalkreicher, in den unteren thonreicher, so daß eine Mischung der einzelnen Schichten fast genau die Zusammensetzung ergibt, die einer guten Portland-Zement-Rohmasse entspricht. Bei dem Abbau des Bruches wird hierauf Rücksicht genommen, indem man genau wie in den Rüdersdorfer Brüchen die ganze Wand mit einem Mal zum Sturze bringt. Dadurch entsteht schon eine gewisse Mischung des Materials.

Auf einem Bremsberg mit schwebendem Seil werden die Steine in Kippwagen von je $^1/_2$ cbm Inhalt den Berg hinunter zur Fabrik geschafft.

Der Zugang zu der erst 1897 vollendeten Fabrik öffnet sich durch ein großes Verwaltungsgebäude, welches die Büreauräume, das Laboratorium und die Wohnungen für Werkmeister und Vorarbeiter enthält. Die eigentliche Fabrik ist in einem riesigen Gebäude von 485 m Länge und 60 m Breite, welches ganz aus Eisenkonstruktion mit Betonfüllung der Wände besteht, untergebracht. Auch das Dach ist aus Beton hergestellt. Seitlich lehnen sich an dies Riesenhaus noch mächtige Säle zur Unterbringung der Dampfkessel und der Dampfmaschinen an, welche einschließlich einer elektrisch übertragenen Wasserkraft der Fabrik über 4000 Pferdekräfte zur Verfügung stellen.

Das aus dem Steinbruche kommende Rohmaterial wird durch eine Siebvorrichtung sortiert. Die groben Stücke werden durch Brechschnecken gebrochen, durch eine sinnreiche mechanische Einrichtung wieder mit den feineren mergelartigen Teilen gemischt und in 16 paarweise angeordnete eiserne Trockentrommeln von 13 m Länge und 80 cm Durchmesser, die von den Abgasen der Dampfkessel geheizt werden, verteilt. Die Trommeln haben etwas Neigung und drehen sich, wodurch die Steine abwärts den heißen Gasen entgegengleiten. Das so getrocknete Material fällt in Brechmaschinen, wird aus ihnen durch Becherwerke in Vorratsräume der oberen Etage gehoben und fällt von da auf die eisernen Zentrifugalwalzenmühlen (Griffinmühlen) zur Feinzerkleinerung. Jede Mühle,

von denen 35 Stück in zwei Reihen quer durch das Gebäude stehen, fördert das Mehl in eine Transportschnecke, die es von beiden Seiten nach der Mitte zu einem Hauptbecherwerk liefert, mit dem es gehoben und durch längsliegende große Schnecken in eine der fünf gewaltigen Mehlkammern abgegeben wird. Die Kammern sind 8 m hoch, und jede Kammer faßt 100 000 Zentner. Auch diese Mehlkammern sind aus Eisenkonstruktion mit Zementbeton gebaut. Aus ihnen kann das rohe Mehl mit Hilfe von Schützen oder Transportschnecken abgezogen werden, und wird nun wieder zum Anfeuchten hochgehoben. Das geschieht in kurzen Schnecken, die das nun mit etwa 10 % Wasser angefeuchtete und gut durchgeknetete Material auf die Pressen abgeben. Die Pressen sind sogenannte Trockenpressen, die das Material zu Ziegelsteinen verdichten, welche selbsttätig auf 4 gewaltige Transportbänder geschoben werden.

Die Transportbänder führen die Steine den einzelnen Kammern der Ringöfen zu und befördern gleichzeitig im Rücklaufe die für den Brennprozeß erforderliche Kohle auf die Öfen. Die 6 Ringöfen liegen symmetrisch in zwei Reihen mitten in dem riesigen Fabrikgebäude, jeder Ofen hat 24 Kammern. Zwischen den Ringöfen liegen 3 lange Kanäle im Fußboden, über denen der gebrannte Zement aufgestapelt wird. Diese Kanäle enthalten Transporteinrichtungen, welche die gebrannten Klinker von jeder beliebigen Stelle der Öfen aus zu der Zementmühle befördern. Die Klinker fallen zuerst auf Grobwalzwerke, von denen eine zweite Transporteinrichtung die nunmehr vorzerkleinerten Stücke auf Feinwalzwerke bringt. Das letzte Grobe wird auf Kollergängen zerkleinert und die Feinmahlung wieder auf 25 Griffinmühlen bewirkt. Jede solche Mühle liefert in 10 Arbeitsstunden 20 000 kg fertigen Portland-Zement mit einer Feinheit von ca. 2 % Rückstand auf einem Sieb von 900 Maschen für einen qcm.

Es läßt sich denken, daß eine so riesenhafte Fabrikanlage einer gewaltigen motorischen Kraft bedarf, die in der Zementmühle von 4 Dampfmaschinen und einem Elektromotor durch Kreisseiltriebe auf eine einzige Welle übertragen und von dieser aus verteilt wird.

Ungeheure Dimensionen weisen auch die Zementmehlkammern und das Lagerhaus für den gepackten Zement auf, der in Säcken und in Fässern versandt wird. Die Faßfabrik, welche täglich 1000 Fässer erzeugen kann, ist abseits in einem besonderen Gebäude untergebracht. Für die Speisung der Dampfkessel wird das von der ca. 40 000 qm umfassenden Dachfläche abfließende Regenwasser in besonderen Behältern aufgefangen, die 2000 cbm fassen können. Außerdem ist noch eine besondere Pumpstation vorhanden, welche das Wasser aus einem künstlichen Teiche in die Reservoirs der Fabrik liefert.

Eine besondere elektrische Bahnanlage vermittelt den Verkehr innerhalb der Fabrik von einem Betriebsteil zum anderen durch das ganze ungeheure Gebäude, dessen Konstruktion im Großen und dessen Einzelheiten ein beredtes Zeugnis für die vielfachen Verwendungsmöglichkeiten des Portland-Zementes ablegen.

Eigenschaften und chemische Zusammensetzung. Wir haben nun kennen gelernt, wie Portland-Zement entsteht, aber seine Eigenschaften, die ihn zum wertvollen Baumaterial stempeln und seine chemische Zusammensetzung sind noch nicht berührt worden.

Die Haupteigenschaft eines guten Portland-Zementes ist seine Fähigkeit, unter Wasser schnell und mit großer Energie zu einem steinharten Körper zu erhärten, ohne dabei seinen Rauminhalt wesentlich zu verändern. Portland-Zement erhärtet sowohl für sich als reiner Zement, als auch in Mischung mit Sand, Kies und Steinschlag, von denen er große Mengen als Zusatz verträgt und mit denen er als Mörtel oder als sogenannter Zementbeton zu steinartiger Härte abbindet. Damit ist seine Verwendbarkeit für Bauzwecke aller Art, namentlich aber unter Wasser begründet. Die chemischen Vorgänge während und nach der Erhärtung des Zementes sind erst teilweise aufgeklärt. Zweifellos richtig ist wohl die Annahme, daß die Erhärtung eine Folge chemischer Bindung von Wasser ist, so daß ein wasserhaltiges Thonerdesilikat (Aluminium — Calciumhydrosilikat) entsteht, neben dem möglicherweise noch andere Verbindungen vorhanden sind. Die Bestandteile des gebrannten Portland-Zementes sind durch Salzsäure zerlegbar.

Die chemische Zusammensetzung guter Portland-Zemente schwankt zwischen den folgenden Grundzahlen: Kalk 58—67 %, Kieselsäure 20—26 %, Eisenoxyd 2—5 %,

Thonerde 5—10 %, Magnesia Spuren —3 %, Alkalien 0,2—3 %, Schwefelsäure 0,2—2 %, Glühverlust 0,2—0,5 %.

Im allgemeinen soll das Verhältnis der Gesamtsilikate zu Kalk annähernd 1:2 sein. Abweichungen sind nur innerhalb enger Grenzen gestattet, etwa von 1,8 bis zu 2,2. Den Quotienten $\frac{\text{Silikate}}{\text{Kalk}}$ nennt man das hydraulische Modul. Oberhalb der Grenzen des hydraulischen Moduls verliert der Zement eine seiner wichtigsten Eigenschaften, ohne die er für Bauzwecke nicht verwendbar ist, seine „Raumbeständigkeit", er beginnt zu „treiben", d. h. sich beim Erhärten auszudehnen. Unterhalb der Grenze behalten die gebrannten Klinker keinen ausreichenden Zusammenhang, sie zerfallen und zerrieseln an der Luft, und der Zement verliert seine Erhärtungsenergie.

74. Lagerplatz für Zementröhren der Portland-Zementfabrik „Stern" in Stettin.

Das Eisenoxyd wirkt dem Zerfallen der Klinker entgegen und dient, wie auch die Alkalien beim Brennen, als Flußmittel. Die Alkalien führen außerdem die Kieselsäure in eine lösliche, verbindungsfähige Form über und machen sie so geeignet, sich bei Gegenwart von Wasser mit dem Kalk innig zu verbinden.

Die Magnesia im Zement ist lange Zeit mit argwöhnischen Augen betrachtet worden, weil man ihr, wenn sie in größerer Menge auftritt, „treibende" Wirkung zuschrieb. Erfahrungsgemäß ist indessen ein Gehalt bis zu 3 % Magnesia unschädlich, und es scheint, daß selbst ein höherer Gehalt an Magnesia keinen Anlaß zu Bedenken gibt, wenn die Aufbereitung der Rohmasse, namentlich das Brennen, mit der nötigen Vorsicht erfolgt.

Die im Zement enthaltene Schwefelsäure ist fast ausschließlich an Kalk gebunden (Gips) und stammt aus dem verwendeten Thon oder dem Brennmaterial.

Verwendung. Die Verwendung des Portland-Zementes für Bauzwecke ist eine ungeheuer mannigfaltige und noch fortwährend im Wachsen begriffene. Vermöge seiner Eigenschaft, unter Wasser schnell und zu einer Masse von bedeutender Festigkeit zu erhärten, findet der meiste Portland-Zement naturgemäß für Wasserbauten Verwendung. Aber auch an der Luft kann er als Mörtelstoff sowohl für sich als auch in Verbindung mit

Sand oder Kies und Steinen verwendet werden. Man unterscheidet langsam bindenden und schnell bindenden Zement. Während der erstere seiner bequemeren Behandlung wegen in erster Linie für gewöhnliche Bauzwecke benutzt wird, dient der Schnellbinder zum Vergießen solcher Baustücke, bei welchen man in kurzer Zeit eine hohe Festigkeit erreichen muß.

Die Mischung von Portland-Zement, Sand und Kies oder kleingeschlagenem Bruchgestein (Kleinschlag, Schotter) bezeichnet man, wie bereits erwähnt, ganz allgemein mit dem Namen Beton. Man kann also den Beton als Mauerwerk aus ungeformten Massen erklären, im Gegensatz zu der Regelmäßigkeit in dem Nebeneinander regelrechten Mauerwerks. Beton war schon den alten Römern bekannt, sie haben auch Betonbauten ähnlicher Art hergestellt wie die heutigen. In der Nähe von Neapel ist in jener frühen Zeit eine Mole am Hafen von Caligula aus Beton erbaut, wobei, nach Vitruvius, der Beton teils in Schüttungen, teils in geformten Blöcken verwendet sein soll. Auch außerhalb der Heimat haben die Römer Betonbauten ausgeführt, z. B. in England, wo noch heute Reste solcher Bauten erhalten sind. Daß man im Mittelalter den Beton in relativ sehr vollkommener Herstellungsweise kannte, beweist ein in Rochester stehendes Haus aus jener Zeit, dessen Mauern und Treppen aus Beton bestehen. Die Kenntnis des Beton-Blockbaues der Römer scheint aber rasch verloren gegangen zu sein, da geschichtlich über denselben vor dem Jahre 1834 nichts wieder verlautet. Die alten Römer haben beim Beton als Mörtel Kalk benutzt, welchen sie an der Luft sehr vorsichtig in langer Dauer löschen ließen; der Gebrauch der Santorinerde und Puzzolane zu Mauerwerk, welches demjenigen aus Beton ähnlich ist, scheint späteren Ursprungs zu sein, hat sich aber bis in die Gegenwart hinein in den Küstengegenden des Mittelländischen Meeres in Übung erhalten.

75. Kolumbusstatue der Alsenschen Portland-Zementfabriken auf der Weltausstellung zu Chicago.

Die Betonbereitung der früheren Zeit unterscheidet sich dadurch von der jetzigen, daß bei derselben auf die Beförderung der Dichtigkeit und Festigkeit durch Anwendung von Pressen oder Stampfen verzichtet wurde, indem man bloße Schüttungen herstellte, in denen dichte Lagerung der Teile sich nur infolge der Wirkung der Schwere vollzog. Heute hat man die Methoden der Mischung des Betons sehr erheblich verbessert und erzielt dadurch, daß man die Mischung in Maschinen herstellt und durch Stampfen bearbeitet (Stampfbeton verwendet), eine Sicherheit der Bauwerke in statischer Hinsicht und eine Wasserdichtigkeit, die allein die massenhafte Verwendung zu großen Wasser- und Luftbauten rechtfertigen können.

In erster Linie sind es Hafenbauten, Brückenbauten, Behälter für Wasserversorgungen und für Gasometer, Röhren und Kanäle, welche dem Beton ihre Entstehung verdanken. Neben der Herstellung von Kanalisationsröhren in der Baugrube selbst, ist es namentlich die Fabrikation transportfähiger Zementröhren, welche neuerdings in sehr großem Maßstabe betrieben wird, und welche zu der Verwendung von Zementbeton für Kunststeine

aller Art hinüberleitet. Nicht nur rohe Blöcke, sondern auch profilierte und mit Bildschmuck versehene Werksteine, Fußbodenplatten, Treppenstufen, Dachziegel und vieles andere werden aus Zementbeton hergestellt, dessen große Druckfestigkeit, Wasserdichtigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Abnützung eben eine derart mannigfaltige Anwendung möglich macht.

Sehr bedeutend ist auch die Verwendung von Zement zu bildnerischem Schmucke. Die in der Abbildung dargestellte Kolumbusstatue der Alsenschen Portland-Zementfabriken in Hamburg, sowie ein großes Denkmal der Germania aus Zement der Portland-Zementfabrik Germania in Lehrte haben auf der Weltausstellung in Chicago berechtigtes Aufsehen erregt.

Die beträchtliche Größe der Druckfestigkeit von Zement, dagegen die Kleinheit der Zugfestigkeit beschränkt den Betonbau im wesentlichen auf Konstruktionsformen, welche vorwiegend auf Druckfestigkeit beansprucht werden, und macht denselben da schwierig oder ungeeignet, wo auf Zugfestigkeit geachtet werden muß.

Die Erfindung eines französischen Gärtners, Namens Monier, welcher zur Herstellung großer Pflanzenkübel Eisen in Verbindung mit Zement anwandte, hat deshalb zu einer neuen Bauweise, der Monier-Bauweise, hinübergeführt, deren Grundgedanke darauf beruht, daß in eine verhältnismäßig dünne Wand aus Zementmörtel ein Eisengerippe (-Gewebe oder -Netzwerk) eingebettet wird. Die Möglichkeit einer zweckmäßigen Kombination von Zement und Eisen beruht auf der großen Übereinstimmung in der Ausdehnung, welche beide Materialien bei Temperaturwechsel erleiden, auf der großen Haftfestigkeit zwischen Zement und Eisen und auf dem Schutz gegen Rost, welcher bei dem in Zement eingebetteten Eisen besteht. Die Monier-Bauweise hat vielfach für Kanäle und Brücken, namentlich aber für Zwischenwände und Gewölbe Anwendung gefunden. Änderungen in der Konstruktion der Eisengerippe haben dann noch zu anderen Bauweisen geführt (Melan, Ciment armé u. s. w.) welche die Anwendung des Portland-Zementes immer weiter verbreiten helfen.

Gips.

Wie wir gesehen haben, unterscheiden sich der gewöhnliche Kalkstein, der Marmor, Kalkspat, Aragonit, die Kreide und andere Varietäten des Kalkes hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung nicht wesentlich, sondern sind sämtlich nur verschieden ausgebildete Formen des kohlensauren Kalkes. Aber auch an andere Säuren ist die Kalkerde der Natur vielfach gebunden. Mit Schwefelsäure bildet sie den Anhydrit, gesellt sich noch Wasser hinzu, den Gips, mit Phosphorsäure den Apatit und Phosphorit.

Der Gips, auch Calciumsulfat genannt, ist also wasserhaltiger schwefelsaurer Kalk und beansprucht als Mörtel- und Baustoff ganz besonderes Interesse. Er kommt in der Natur in geringer Menge fast in allen Wässern gelöst vor, und zwar bedarf ein Teil 388 Teile Wasser von 15° C. zur Lösung. In größeren Massen ist der Gips derb und bildet unter verschiedenen Formen bald nesterförmige Einlagerungen in den Gebirgsgesteinen, bald Gangausfüllungen, bald ganze Gebirgszüge, wie am südlichen Rande des Harzes, wo der Gips eine meilenlange Mauer von Osterode bis Obersdorf bei Sangerhausen zusammensetzt. Er bildet den Katzenstein bei Osterode, den Sachsenstein bei Walkenried, den Kahnstein bei Ilfeld.

An den genannten Stellen am Harz und namentlich im Pariser Becken hat der Gipsstein so kompakte Beschaffenheit, daß er als Baustein verwendet wird. Viele alte Häuser von Paris bestehen daraus, und auch in Deutschland, z. B. in Lüneburg, findet man noch vielfach alte Mauern aus Gipsfelsen. Die bedeutenderen Ablagerungen des Zechstein- oder Schlottengipses umschließen oftmals Höhlen, die sogenannten Schlotten, welche in ihrer Form und Größe sehr verschieden und höchst wahrscheinlich durch allmähliche Auswaschung entstanden sind. Sie pflegen bis auf eine gewisse Höhe mit Wasser erfüllt zu sein. Viele der in Thüringen und Mansfeld bekannten Erdfälle verdanken ihre Entstehung dem Einsturze solcher Schlotten.

Die reinsten Varietäten des Gipses sind ganz weiß und erscheinen bisweilen in schönen, durchsichtigen, oft ziemlich großen Krystallen (Marienglas oder Fraueneis). Häufiger aber

ist der derbe Gipsstein, welcher gepulvert mannigfache Verwendung als Streusand, in der Farbentechnik, in der Porzellan- und Papierfabrikation als Zusatz bezw. beschwerender Stoff, um dem Papier mehr Masse zu geben, u. s. w. findet. Vielfach dient er auch zur Verfälschung von Stärke, Mehl, Bleiweiß und anderen Pulvern. Unreine Sorten sind oft gestreift, gebändert, marmorähnlich gezeichnet und werden deswegen, sowie da sie sich sehr leicht bearbeiten lassen, wie der Marmor zu Gegenständen mancher Art verarbeitet. Eine besonders reine Varietät des dichten Gipses ist der Alabaster, der viel zu kleineren Bildhauer- nnd Drechslerarbeiten benutzt wird, da er seiner Weichheit wegen sich viel leichter als Marmor behandeln läßt. Fasergips, Schaumgips u. s. w. sind Mineralien, die nur durch eigentümliche Struktur sich unterscheiden. Behandelt man Gips mit kohlensaurem Ammoniak, so entsteht kohlensaurer Kalk und schwefelsaures Ammoniak. Das macht den Gips wertvoll als Düngemittel, denn bei der Zersetzung des Mehles entwickelt sich sehr viel kohlensaures Ammoniak und geht, wie der stehende Geruch in Ställen beweist, größtenteils verloren. Bestreut man dagegen den Mist mit Gipspulver, so wird das wertvolle Ammoniak in das nicht flüchtige schwefelsaure Salz übergeführt und bleibt erhalten.

Außer dem gewöhnlichen, chemisch gebundenes Wasser enthaltenden Gips kommt in der Natur, wie bereits erwähnt, auch noch wasserfreies Calciumsulfat (schwefelsaurer Kalk) vor, welches Mineral den Namen Anhydrit führt.

Der Gips kann von seinem Wassergehalt durch Erhitzen befreit werden, er behält dann aber immer, wie auch der gebrannte Kalk, das Bestreben, Wasser wieder anzuziehen und so viel aufzunehmen, als das in der Natur vorkommende kristallisierte Mineral davon enthält. Dabei verändert sich der gebrannte Gips; er schwillt auf und bekommt Festigkeit, so daß er, wenn er vorher zu dem feinsten Pulver gestoßen war, mit Wasser vermengt eine starre, in sich zusammenhängende Masse darstellt.

Verwendung.

Auf die Eigenschaft der schnellen Erstarrung des gebrannten Gipses mit Wasser gründet sich seine Verwendung für Bauwerke, die eine sehr mannigfaltige ist, da sich einerseits mit Wasser angerührter feiner Gipsbrei in alle Formen bringen läßt, den feinsten Modellierungen derselben sich anlegt und sie beim Festwerden zum schärfsten Abdruck bringt, demnach als Abformungsmaterial ganz ausgezeichnete Dienste leistet, anderseits nach dem Erhärten seine Festigkeit hinreichend groß wird, um plastische Gegenstände, Abgüsse von Bildwerken, namentlich auch für ornamentale Zwecke (Stuck oder Stuckatur), daraus auf sehr billige Weise herstellen zu können.

Um den Gips nun dafür geschickt zu machen, brennt man die Steine auf ähnliche Weise wie den kohlensauren Kalk, entweder in besonders konstruierten Öfen oder auch bloß in geheizten Backöfen, in welche die Steine auf Eisenblechen eingeschoben werden oder als Steinmehl in eisernen Gefäßen mit Rührwerk, sogenannten Kochern. Da jedoch das Wasser schon bei einer Temperatur, die noch weit unter der Glühhitze steht, zum größten Teil, der Rest aber erst in der Glühhitze entweicht, erfahrungsmäßig aber festgestellt ist, daß der gebrannte Gips die meiste Bindekraft dann besitzt, wenn er noch nicht seinen ganzen Wassergehalt verloren hat, so ist eine sorgfältige Regelung der Temperatur eine Hauptbedingung für die Herstellung eines guten Produktes. An einigen Orten brennt man daher den Gips auch am liebsten bei Nacht, weil man dann das Nahen des Glühens, bis zu welchem die Hitze nicht gesteigert werden darf, an den vorausgehenden Farbenveränderungen besser erkennen kann. Überhitzter Gips verliert seine Fähigkeit, Wasser sofort wieder aufzunehmen und chemisch zu binden, er ist totgebrannt; nach und nach jedoch erhält auch der totgebrannte Gips, selbst wenn er bei starker Rotglühhitze gebrannt wurde, wieder die Fähigkeit, Wasser aufzunehmen und damit zu erhärten. Dem natürlichen schwefelsauren Kalk, dem Anhydrit, geht dagegen die Fähigkeit, mit Wasser zu erhärten, ganz ab.

Wenn die Steine gebrannt sind, werden sie zerschlagen und zu Pulver gemahlen. Für die feineren Zwecke der Bildhauerei zieht man es aber vor, besonders reine Gipssteine vor dem Brennen zu pulverisieren; man erhitzt dann das Pulver wie oben erwähnt entweder in eisernen Kesseln oder auf Eisenblechen unter fortwährendem Umrühren, ein

Verfahren, welches Bildhauer und andere Gips konsumierende Künstler häufig mit eigener Hand verrichten, und wozu sie dann das Mehl von Alabaster oder Fraueneis gebrauchen. Die Ursache der Erhärtung des gebrannten Gipses beim Mischen mit der geeigneten Menge Wasser liegt nicht allein in der chemischen Bindung des Wassers, wobei übrigens eine geringe Ausdehnung und Erwärmung stattfindet, sondern auch darin, daß eine gesättigte Lösung von Gips in Wasser entsteht, aus welcher kleine Kryställchen von Gips zwischen den bereits fest gewordenen Gipsteilchen auskrystallisieren, die nun letztere zu einer zusammenhängenden Masse verbinden.

Um den gebrannten pulverigen Gips zu Formstücken oder Bildwerken zu verarbeiten, rührt man ihn mit reinem Wasser in einem mit Öl ausgestrichenen Gefäße an. Statt reinem Wasser kann man auch eine dünne Leimlösung, saure Milch und andere Flüssigkeiten anwenden und dem Gipse dadurch entweder eine gewünschte Farbe, größere Härte oder andere Eigenschaften mitteilen. Der Grad der Konsistenz, welche man dem Gipsbrei zu geben hat, richtet sich nach dem Zwecke. Zu Figuren und Abdrücken, welche die Originale auf das genaueste wiedergeben sollen, bereitet man eine dünne Masse, die allerdings langsamer erhärtet, dabei aber Zeit hat, die feinsten Räume auszufüllen und sich den zartesten Vertiefungen anzulegen, während man massige Erzeugnisse, bei denen es auf große Feinheit nicht ankommt, aus dickerem Brei formt, der rascher erhärtet. Um das Erhärten des Gipsbreies zu verzögern, setzt man auch wohl 2—4 % gepulverte Eibischwurzel zu.

Das Formen des Gipses. Verhält sich solchergestalt der Gipsbrei ähnlich wie eine geschmolzene Metallmasse, so werden für die Darstellung der Modelle und Formen auch ähnliche Vorschriften gegeben werden können, die wir schon früher beim Guß von Kunstsachen befolgt sahen. Die Modelle macht man von Wachs, über welche man durch fortgesetzte Aufstriche von Gips eine Form herstellt; aus dieser wird, wenn sie die erforderliche Dicke erlangt hat, das Modell durch Erhitzen herausgeschmolzen. Derartige Formen können im ganzen erhalten werden; wenn man aber feste Körper abzuformen hat, wird oft der Fall eintreten, daß man die Form, um sie abzulösen, zerstückeln muß. Da bei jedem Abguß derselbe Fall sich wiederholen würde, so hat man auf diesen Umstand bei solchen Formen, die öfters benutzt werden sollen, schon von vornherein Rücksicht zu nehmen. Nach der Beschaffenheit des abzuformenden Modells macht sich der Künstler einen Plan, um unter Beobachtung der einspringenden Stellen die Gipsform in möglichst große Stücke zu zerschneiden, welche man für jeden Abguß mit sehr dünnem Gipsbrei wieder zusammenkittet. Das Zerschneiden geschieht mit einer feinen Säge. Bei sehr großen Modellen von Thon, deren Masse sich aus der ganzen Hohlform nur schwierig entfernen lassen würde, und die auch ein Zersägen über dem Modell nicht gestattet, legt man, ehe der erste Gipsüberzug aufgestrichen wird, einen Faden so über das Modell, daß er dasselbe passend in zwei Hälften teilt und, indem man ihn durch die fertig aufgestrichene, aber noch nicht vollständig erhärtete Gipsmasse abzieht, schneidet man aus dieser die beiden Formstücke, deren Trennungsflächen man mit einer in Öl getauchten Feder bestreicht, damit sie nicht wieder zusammenbacken. Genügt die Teilung in Hälften nicht, so kann man durch mehrere solcher Fäden auch kleinere Formstücke noch ablösen.

Formen des menschlichen Körpers, Arme, Hände u. s. w., können der Natur der Sache nach auf keine bequemere Art angefertigt werden, als daß man den abzuformenden, vorher von allen Härchen befreiten und gut eingeölten Teil ringsum mit Gipsbrei umgibt. Dabei muß er gehörig unterstützt sein, damit nicht durch Anstrengung oder Erschlaffung eine unbeabsichtigte Thätigkeit der Muskeln während der Abformung eintritt. Man legt nun wohl einen Faden und teilt damit die Form in zwei Hauptteile; es genügt dies jedoch nur in seltenen Fällen, um die Form frei abheben zu können. Öfter muß man sie in mehrere Stücke zersprengen oder zersägen, und man bereitet dies vor, indem man mittels eines feinen Bossierholzes in die Formmasse, solange sie noch weich ist, an den passendsten Stellen Einritzungen bis beinahe an die Haut macht. Ist der Gips vollständig erhärtet, so treibt man in die Klüfte kleine Keile, und zerbricht damit die Form in einzelne Stücke, die zum Behufe des Abgießens wieder miteinander verbunden werden. Die Anfügestellen sind auf den Abgüssen als erhabene Nähte zu bemerken und werden, um die Treue des

Bildes nicht zu beeinträchtigen, in der Regel nicht verputzt. Bei der Abformung großer Statuen befolgt man noch ein anderes Verfahren, wobei man durch aufgesetzte Thonblättchen oder durch geöltes Kartenpapier die Figur mit lauter oben offenen Kästchen überzieht, in welche man den Gipsbrei eingießt. Wie als Formmaterial dient weiterhin der gebrannte Gips auch zur Herstellung der Gußstücke.

Das Gießen des Gipses. Die Hauptbedingung für einen glatten Guß ist eine Form, von welcher sich die leicht anhaftende Gußmasse ohne Schwierigkeit wieder ablösen läßt. Ist daher auch die Form von Gips, so muß sie vor dem Guß gut eingeölt werden. Daß beim Gießen selbst alle Vorsichtsmaßregeln zum Entweichen der in der Form eingeschlossenen Luft getroffen werden müssen, versteht sich von selbst. Der Gipsbrei darf nicht sehr steif sein, so daß er sich in der Form, ohne daß diese vollständig damit angefüllt zu sein braucht, nach allen Seiten hin schwenken lassen kann. Fängt er an zu erstarren, so gießt man das noch Flüssige aus der Form heraus. Auf solche Weise erhält dieselbe nur einen dünnen Überzug im Inneren; durch mehrmaliges Wiederholen dieser Manipulation aber verstärkt man die Schicht, bis sie genügende Dicke erreicht hat.

Bei sehr großen Gegenständen, namentlich bei Figuren, die man nicht in einzelnen Stücken gießen will und deren Form man nur schwierig durch Drehen und Wenden mit der Gipsmasse auf die angegebene Weise würde ausfüllen können, treibt man den leichtflüssigen Brei mit Hilfe der Zentrifugalkraft in die einzelnen Abteilungen des Hohlraumes, indem man die Form auf eine rotierende Scheibe setzt, welche, je nachdem der Gipsbrei Teile ausfüllen soll, die näher oder entfernter der Drehungsachse liegen, in mehr oder weniger rasche Umdrehung versetzt wird.

Um den Gipsgegenständen die Starrheit des Ausdruckes zu benehmen, die ihnen im Vergleich zum Marmor ein kaltes, totes Aussehen gibt, kann man sie mit schwach gefärbter geschmolzener Stearinsäure oder mit Paraffin tränken. Dieses Verfahren zur Herstellung der beliebten Elfenbeinmasse ist jedoch nur bei kleineren Gegenständen anwendbar. Dagegen lassen sich solche Gipsabgüsse, die den atmosphärischen oder sonstigen zerstörenden Einflüssen ausgesetzt werden sollen, zweckmäßigerweise durch Eintauchen in Lösungen von Leim, Alaun oder Borax härten, oder durch Tränken mit einer heißen Mischung von Wachs und Leinöl unempfindlicher machen. Man macht hiervon besonders auch beim Belegen von Wandflächen Gebrauch, indem man die Gipsmasse mit Leimwasser anmacht und geeignete Farbstoffe zusetzt; durch Ineinandermengen solchen verschiedenartig gefärbten Breies in weichem Zustande lassen sich Marmor und ähnliche Gesteine nachahmen. Am besten verwendet man intensive Saftfarben; Körperfarben muß man in solcher Menge zusetzen, daß die Festigkeit des Abgusses nicht beeinträchtigt wird. Die Flächen werden glatt gestrichen, nach dem Erhärten fein geschliffen, schließlich noch, um den Glanz zu heben, mit Leinöl getränkt und mit Terpentinöl und weißem Wachs poliert (Stuckmarmor, Ölstuckatur).

Um Gipsabgüsse abwaschbar zu machen, tränkt man sie mit Barytlösung, läßt sie trocknen und taucht sie dann in eine heiße Seifenlösung. Nach dieser Behandlung werden sie sorgfältig gewaschen und getrocknet. Als Industriezweig wird die Gipsgießerei vorzüglich in Italien betrieben, von wo unzählige Abgüsse alter und neuer plastischer Kunstwerke nach allen Ländern der Erde vertrieben werden. Wenn auch nicht ausnahmslos, so hat in diesen Erzeugnissen der Gips für die Welt doch eine große ästhetische Bedeutung, denn er ist das einzige Mittel der Vervielfältigung für Werke, von denen weder Beschreibungen noch Abbildungen genügende Vorstellungen zu erwecken im stande sind. Ohne ihn würde das Studium der alten Kunst mit seiner unvergleichlich befruchtenden Kraft ein höchst mühsames, weil nur an denjenigen Orten vorzunehmendes sein, wo die überlieferten Werke in natura aufbewahrt werden, wenn es nicht geradezu unmöglich wäre, weil sich die der Zerstörung entgangenen Bildwerke weithin in den Sammlungen zerstreut finden und eine vergleichende Nebeneinanderstellung, wie sie jetzt mit verhältnismäßig geringen Mitteln zu ermöglichen ist, nie zu bewerkstelligen sein würde.

Der Gebrauch des gebrannten Gipses als plastisches Material ist übrigens sehr alt, er wird schon von Herodot erwähnt. Nach diesem Vater der Geschichtschreibung soll zu

r Zeit schon in Äthiopien die Sitte geherrscht haben, die Leichname der Verstorbenen er Sonne zu trocknen, um sie sodann mit Gips zu überziehen und auf diese Weise lbbild zu erhalten, das mit Farben bemalt wurde. Vitruv erwähnt des Gipsstucks, linius weist auf die Verwandtschaft des Gipses mit dem Kalk hin. Es scheint aber, in späteren Zeiten von der eigentümlichen Bildsamkeit dieses Materials kein Gebrauch cht worden ist, und wenn sie früher wirklich in der gedachten Weise gekannt war, in essenheit gekommen ist; wenigstens nimmt man an, daß unsere heutige Gipstechnik t um das Jahr 1300 in Italien von Margaritone geübt und besonders im 15. Jahrert von Bildhauern und Baukünstlern der Frührenaissance vervollkommnet worden soll.

76. Alte Giebelhäuser vom Sande in Lüneburg.

Die heutige Verwendung des Gipsstuckes an den Fassaden unserer Mietskasernen ider vielfach eine höchst unkünstlerische. Wo in erster Linie die Billigkeit ausschlagnd sein muß, da tritt die Kunst zurück, und wir sehen schablonenmäßig, reihenweise immer wiederkehrend dieselben Ornamente, möglichst zahlreich in einer Form herge, die Häuserfronten bedecken.

Erwähnt soll noch werden, daß im Mittelalter Gips vielfach auch als Mörtel Verung gefunden hat. Alte Backsteingiebel, mit Gipsmörtel aufgemauert sind z. B. in burg noch zahlreich vorhanden. Im Laufe der Jahrhunderte hat der Gips durch feraufnahme sein Volumen erheblich vergrößert und dadurch die Bauwerke namentlich er Breite auseinander gedrängt (Abb. 76), so daß die Vertikallinien der Fassaden oben hin divergieren.

Kunststeine.

Wie alt die Herstellung künstlicher Steine für Bauzwecke schon ist, pflegt wenig bekannt zu sein. Selbst wenn man von dem gebrannten Thonziegel als dem ältesten Kunststein — der sich bis in die Zeit der alten Ägypter verfolgen läßt — absieht, kannten schon Altertum und Mittelalter eine ganze Reihe künstlicher Steinprodukte für Bauzwecke, von denen einzelne Exemplare in gut erhaltenem Zustande bis auf unsere Zeit gekommen sind. In Japan finden sich alte Bauten, die nur aus sogenanntem Ganistersand und gelöschtem Kalke bestehen und harte Blöcke aufweisen, wie wir sie kaum mit Portland-Zement und unter Anwendung von hohem Druck herstellen können. Aus Kieselguhr sind schon lange vor der byzantinischen Zeit Kunststeine geformt worden, und noch heute sind Bauten aus ihnen oder Teile davon erhalten, wie wir uns z. B. am großen Gewölbe der Sophienkirche zu Konstantinopel überzeugen können. In Nordamerika (im Staate Illinois) ist eine uralte Straße aufgefunden worden, deren ganzes Fundament aus einer künstlichen, aus einem Guß hergestellten Platte von „Sand, Kies und Kalk" besteht, also aus dem einfachsten Kunststein, den wir Beton nennen. Solche Betons waren Griechen und Römern bekannt; aber auch bessere Kunststeine wurden hergestellt, wie wir aus den vielen aufgefundenen Resten griechischer und römischer Bauwerke ersehen können. Die Salomonischen Zisternen bei Tyrus und andere Wasserbauten jener Zeit, die fünf oder sechs kolossalen Gänge des Riesenmauerwerks im Ruinenfelde des Salomonischen Tempels zu Jerusalem und sonstige uralte Bauüberreste bestehen aus künstlichem Stein. Zu St. Domingo auf der Insel Hayti steht seit dem Jahre 1500 eine heute noch gut erhaltene gotische Kathedrale aus Kunststein, in welcher vor 250 Jahren die Gebeine des Kolumbus beigesetzt wurden. Diesem Tempel gegenüber wurde lange nach dessen Erbauung das Kastell des Kolumbus aus hartem Natursteín erbaut, das schon längst in Schutt und Trümmern liegt.

Die Alten haben sonach verstanden, Kunststein zu erzeugen, der mit dem natürlichen zu konkurrieren vermochte. Selbst der früher viel als Stuck verwendete Gips hat sich als ein wetterbeständiges Baumaterial erwiesen. Seit Jahrhunderten hat man die wunderbaren Ornamente an der berühmten Alhambra für vorzüglichen Stein ansehen können, oder die ausgegrabenen Steinkisten-Gräber für Gebilde aus Steinplatten, während beide doch nur aus gewöhnlichem Gips bestanden.

In unserer Zeit hat die Verwendung künstlicher Bausteine überall da sich eingebürgert, wo ein Mangel an natürlichem Baumaterial vorhanden ist.

Während das südliche und mittlere Deutschland schier unerschöpfliche Steinbrüche aufweist, ist der größte Teil der norddeutschen Tiefebene arm an natürlichen Bausteinen. Dennoch hat sich der Betonbau als die einfachste Herstellung größerer Stücke künstlichen Steines im Süden Deutschlands und in Österreich-Ungarn schon weit mehr ausgebreitet als im Norden. Dagegen gehören die meisten neueren Kunststeine im eigentlichen Sinne des Wortes dem Norden Deutschlands an.

Von der Schilderung der mannigfachen Gestaltungen, die man als Quadern und Platten aus Zement, Kies, Steinschlag, Bimssand oder aus Gips mit verschiedenen Einlagen herstellt, sei abgesehen. Es sollen nur die Kunststeine im engeren Sinne im einzelnen besprochen werden.

Sie lassen sich im wesentlichen in vier Gruppen teilen:

1. Nachahmungen natürlich vorkommender Gesteine für den Außenbau,
2. Nachahmungen natürlich vorkommender Steine für den Innenbau und Ausbau,
3. Kunststeine aller Art als Ersatz für Ziegel,
4. Künstliche Pflastersteine.

Zu der ersten Gruppe gehören die zahlreichen Nachahmungen von Sandstein und Granit.

Künstlicher Sandstein.

Namentlich Sandstein hat man sich vielfach bestrebt nachzuahmen, und zwar hauptsächlich in der Absicht, die Formgebung für Werkstücke und Ornamente in haltbarem wetterbeständigen Material zu erleichtern und zu verbilligen. Es sollte also in sandsteinarmen Gegenden ein Ersatz für den steinernen Schmuck der Gebäude gewonnen und der billige, aber meist unschöne und wenig haltbare Gipsstuck durch ein edleres Material verdrängt werden.

Das Nächstliegende war, aus einer Mischung von Zement und Sand in Leim- oder Gipsformen ornamentale Stücke zu gießen oder zu stampfen, wie dies heute in zahlreichen Zementwarenfabriken geschieht. Man verwendet dazu langsambindenden raumbeständigen Portland-Zement von feiner Mahlung, dessen Farbe man durch Zusätze reguliert, die man dem Mineralreiche entnimmt, da organische Farbstoffe z. B. Anilinfarben, nicht wetterbeständig sind. Mit reinem gewaschenen Sand, oder Flußkies von scharfem Korn wird der Zement zunächst trocken gemischt und dann zur Herstellung gestampfter Stücke mit Wasser erdfeucht angerührt. Die aus Gips, Holz oder Eisen bestehenden teilbaren Formen werden zunächst mit „Feinstoff“ oder „Vorguß“ (1 Zement : 1 Sand) einige Zentimeter hoch gefüllt, wobei der Mörtel mit der Hand gut angedrückt wird, dann erst kommen magere Betonmischungen dahinter, die fest eingestampft werden. Handelt es sich um sehr große und weit ausladende Stücke, so legt man wohl auch Eisendrähte oder Eisendraht-Gewebe, die mit reinem Zementbrei umgossen sind, in die Masse ein. Diese Eiseneinlagen geben eine innige Verbindung mit dem Zement und gewähren einigen Schutz vor dem Zerbrechen großer Stücke, besonders bei vorzeitigem Transport. Von manchen Fabrikanten werden die Eiseneinlagen aber verschmäht, weil sie Veranlassung zur Rißbildung und Zerstörung der Stücke durch das Rosten des Eisens infolge der durch die Risse eindringenden Feuchtigkeit geben sollen. Nach einigen Tagen werden die Stücke von der Form befreit und können nun, bevor sie vollständig erhärtet sind, nachgearbeitet werden. Zuweilen wird die Oberfläche, um ihr das glatte Aussehen zu nehmen, mit Säuren geätzt. In einigen Wochen sind die Stücke zum Versand und zur Verwendung im Bau geeignet.

Sehr schöne ornamentale Stücke, Friese, Kapitäle, Figuren, Balluster u. s. w. werden in dieser Weise hergestellt. So besteht z. B. in Berlin der ornamentale Schmuck der von den Architekten Kayser und von Großheim entworfenen Füllungen für die straßenseitigen Stirnen von fünf Bögen der Berliner Stadtbahn am Bahnhof Friedrichstraße (Franziskaner), und ein Teil der Straßenfassade des Künstlerhauses zum St. Lucas in der Fasanenstraße in Charlottenburg aus Zement-Kunststein. Diese Stücke bieten nicht nur seit Jahren dem Einfluß von Wind und Wetter Trotz, sondern auch den Beschädigungen durch Mutwillen und Fahrlässigkeit, da sie unmittelbar an verkehrsreiche Straßen heranreichen.

In die Kategorie der Zementkunststeine fällt auch ein als Gebrauchsmuster geschützter Stein, der als Ersatz für Sandsteinquadern oder für die durch Zementputz imitierten Quadersteine nur an den Außenecken von Neubauten Verwendung finden soll und in Größen von $45 \times 30 \times 22$ cm an, und in ähnlichen Dimensionen hergestellt wird. Der Eckstein wird aus Zementbeton gestampft und zeigt an je einer Längs- und Querseite eine erhabene Musterung, wie solche bei natürlichen Steinen durch Behauen und Schleifen hervorgebracht wird. Neu ist dabei, daß die Eckstein aus Stampfbeton fertig zum Bau

gebracht und verarbeitet werden. Bisher wurden die Ecken der Wohnhäuser sowohl bei Rohbau als auch bei Putzbau häufig mit einem Zementputz versehen, der profilierte Quadersteine darstellen sollte. Die Herstellung dieses Putzes ist wegen der vielen Ecken, Fugen, Verzierungen u. s. w. sehr zeitraubend und daher kostspielig, außerdem bedarf es der größten Vorsicht, um nicht das anschließende Mauerwerk zu beschmutzen und zu beschädigen, sowie auch um eine scharfe Abgrenzung zwischen dem Verblendstein-Mauerwerk und der Quaderimitation zu bilden. Allen diesen Übelständen wird abgeholfen, wenn beim Bau fertige Eckſteine gleich mit vermauert werden.

Wird die Oberfläche gestampfter Zement-Ornamente aus zu fetter Zementmasse hergestellt, oder werden — was für kleine und billige Stücke vielfach geschieht — die Ornamente aus fetter Mischung in Leimformen *gegossen*, so zeigen sich bei dieser Art Waren auch Schattenseiten. Die frisch ausgeformten Stücke weisen vielfach Gußfehler in Form von Blasen und Hohlräumen auf, müssen daher an der Oberfläche „ausgespachtelt" und geglättet werden. Die Oberfläche wird dadurch stärker verdichtet als das Innere des Steines und infolgedessen leicht im Freien haarrissig; die Haarrisse setzen sich voll Schmutz und bieten dem Frost willkommene Angriffspunkte.

Einen Versuch, Zement-Gußstücke möglichst dicht herzustellen und doch das übermäßige Glätten der Oberfläche zu vermeiden, unternahm die internationale Sandstein-Gießerei Ischyrota in Berlin, indem sie das Gemisch von Zement und Sand, dem jede gewünschte sandstein-ähnliche Farbe zugesetzt werden kann, während des Mischens „entluftete", d. h. die Luft in dem Mischgefäß verdünnte. Es sind auf diese Weise eine ganze Reihe von Formstücken hergestellt worden, die an Berliner Häuserfassaden Verwendung gefunden haben. Seit 1888 ist in Berlin Ischyrota-Sandstein verwendet bei den Fassaden der Häuser Neue Roßstraße 16, Friedrich- und Dorotheenstraßen-Ecke, Friedrich- und Georgenstraßen-Ecke, Winterfeldt- und Potsdamerstraßen-Ecke.

Diesen Erzeugnissen aus Zement und Sand haftete teilweise noch der Fehler an, daß sie das feine Korn des natürlichen Sandsteines vermissen ließen, sie sahen glatt und kalt aus. Neuerdings hat man in Bezug auf äußere Erscheinung wesentliche Fortschritte gemacht, wozu unter anderen Möhles Baupatente beigetragen haben.

Nach Möhles Verfahren wird dem Bindemittel an Stelle des gewöhnlichen Sandes gemahlener Sandstein zugesetzt (Mischungsverhältnis etwa 1 : 3). Die Stücke werden nicht gegossen, sondern in Holz- oder Gipsformen eingestampft, sie erhalten eine rauhe sandstein-ähnliche Oberfläche, die auch mit Steinhauer-Werkzeugen nach der Erhärtung nachgearbeitet (schariert, bossiert) werden kann. In dieser Weise werden z. B. in Ulm neuerdings künstliche Steinblöcke in einer dem natürlichen Sandstein täuschend ähnlichen Weise hergestellt. Auf der Gewerbeausstellung in Ulm 1894 erhob sich ein von einer dortigen Firma ausgestellter zierlicher Terrassenaufbau aus rauh bossierten Quadern, mit einer einfachen aber geschmackvollen Deckschichte, auf welcher sich eine Menge schöner Bauteile, von der einfachsten Sohlbank bis zum feingegliederten scharfkantigen Gesimse in blaugrauem feinkörnigem Kunstsandsteine, gruppierte. Aus demselben Material errichtet, stand auf einem freien Platze, dem Hauptturme des Münsters gegenüber, ein imposanter dreistöckiger Wohnhausneubau, damals der Vollendung nahe. Die architektonisch reich gegliederte Fassade mit ihren wohlthuend kräftigen Formen und ihrem markig schönen Abschluß schien dem Unkundigen auf den ersten Blick aus Roschacher Sandsteinen hergestellt, und doch war das Material dieser, den Besucher so wohl befriedigenden Giebelfassade kein weit, mühsam und kostspielig herbeigeschaffter Sandstein, sondern Portland-Zement-Kunststein. Der im modernen Renaissancestil gehaltene Pilasteraufbau zeigt in jedem seiner Teile und Glieder — in den Bossenquadern, den Pfeilern, den Gesimsen, Pilastern, Konsolen, den ionischen und korinthischen Kapitälen, den Galerien, Muscheln und Füllungen und endlich dem kühn vorspringenden Balkon mit seinen wuchtig geschwungenen Trägern und seinen ebenmäßigen Balluſtraden — eine solch reine, präzise und leicht gefällige Ausarbeitung, wie man dieselbe bisher nur im besten Sandstein für ausführbar hielt. Noch zahlreiche andere Bauwerke, bei denen dieser Kunststein verwendet ist, beweisen, daß ein guter und gleichfarbiger Zement sich zur Ausführung stilgerechter Kunst- und

Monumentalbauten ganz vortrefflich eignet. Diese Thatsache ist von nicht zu verkennender Tragweite für die an Naturbausteinen so arme, dagegen an Baugelegenheiten noch so reiche schwäbisch-bayrische Hochebene. Nimmt man hierzu noch die Thatsache, daß ein Zementbau kaum halb so teuer zu stehen kommt, als ein gleichartig ausgeführter Sandsteinbau, bedenkt man ferner, daß ein Zementbau in verhältnismäßig sehr kurzer Zeit sich herstellen läßt, und übersieht man endlich nicht, daß solid ausgeführte Zementbauten an Dauerhaftigkeit den Sandsteinbauten in nichts nachstehen, so läßt sich hieraus der Wert des Zementes und der aus ihm hergestellten Kunststeine erkennen. —

Bei der Herstellung aller dieser Kunststeine ist man an bestimmte Formen und Modelle gebunden, die vorerst hergerichtet werden müssen. Das Ideal der Kunststeinfabrikation ist aber ein weicher Block, aus dem der Bildhauer und Modelleur mit Leichtigkeit seine Skulpturen formt, um sie nachher an der Luft erhärten zu lassen. Nach dieser Richtung hin sind in neuerer Zeit mehrfach Erfindungen gemacht worden. Dr. W. Michaelis hat am 5. Oktober 1880 ein deutsches Reichspatent (Nr. 14 195) genommen auf Herstellung von Kunstsandstein, dessen Bildung auf der von ihm zuerst erkannten Thatsache beruht, daß feuchtes Kalkhydrat bei höheren Temperaturen im mit Wasserdampf erfüllten Raume mit der Kieselsäure und ihren Verbindungen Zement, ja selbst mit dem Quarz Kalkhydrosilikat bildet. Mit mancherlei Modifikationen des ursprünglichen Erfindergedankens hat die fabrikmäßige Herstellung künstlicher Steine aus Kalkhydrat und Sand vielfache Verbreitung gefunden. Am meisten bekannt unter diesen Erzeugnissen ist der sogenannte Hydrosandstein, der aus feinem Quarzsand, feingemahlenen Kalksteinen und pulverförmig abgelöschtem und gemahlenem Kalkhydrat in hölzernen Formen gestampft wird.

Hauptgewicht wird auf die innige Mischung dieser Materialien gelegt, die in Kollergängen, Kugelmühlen, Rohrmühlen u. s. w. vorgenommen wird. Die frisch aus 2—3 cm dicken Schichten übereinander gestampften Steinblöcke können unmittelbar von den Formen befreit und mit Schabern oder Messern von Bildhauern oder Steinmetzen in die gewünschte Form des Werkstückes gebracht werden. Die Bearbeitung der weichen Blöcke ist naturgemäß erheblich leichter und damit billiger als die natürlicher Sandsteinblöcke. Die fertig zugerichteten Stücke kommen in gemauerte Kammern, wo sie mindestens acht Tage lang abwechselnd dem Einflusse von heißem Dampf und Kohlensäure ausgesetzt werden. Sie erhärten hierin zu beträchtlicher Festigkeit und können entweder sofort im Bau verwendet oder mit Steinmetzwerkzeug weiter bearbeitet werden. Die Struktur des so erzeugten Steines ist eine dem Sandstein sehr ähnliche.

Für Stücke, welche eine besondere Oberflächenhärte bekommen sollen, z. B. für Treppenstufen, werden der Rohmischung noch Silikate zugesetzt.

An einigen Stellen sind an Hydrosandstein-Fassaden starke Ausblühungen eines weißen Salzes beobachtet worden, das sich als kohlensaures Natron erwies. Vermutlich ist durch den Hydrosilizierungsprozeß in dem Sand vorhandenes Natrium-Silikat aufgeschlossen und zersetzt und damit lösliches Ätznatron erzeugt worden. Das herauswitternde Salz hinterläßt naturgemäß im Stein entsprechend feine Hohlräume, die sich mit Wasser füllen und eventuell bei Eintritt von Frost Veranlassung zur Zerstörung geben können. Es ist deshalb zur Herstellung wetterbeständiger Hydrosandsteine besondere Sorgfalt auf die Auswahl der Rohmaterialien zu verwenden.

In Berlin sind mehrere Gebäude mit Hydrosandstein-Fassaden ausgestattet, z. B. das Eckhaus Neuer Markt und Rosenthalerstraße und einige Häuser in der Französischen Straße, die sich bis jetzt tadellos gehalten und keine Auswitterungen gezeigt haben. Auf der Berliner Gewerbeausstellung 1896 war die Einfassung des großen Springbrunnenbassins nebst zwei Figurengruppen aus solchem Material ausgeführt. In Berlin kostet ein Kubikmeter bearbeiteter Hydrosandstein etwa 130—140 Mark.

Das einfache Verkittungsverfahren, wie es beim Hydrosandstein zur Anwendung kommt, hat später durch andere Erfinder noch mehrfache Abänderungen erfahren, wobei man teilweise von falschen Voraussetzungen ausging, aber schließlich zu demselben Ziele gelangte. So bildet „die Eigenschaft des gebrannten Kalkes, in Berührung mit Wasser oder Wasserdampf ein erheblich größeres Volumen anzunehmen", die Grundlage eines

R. Avenarius-Ingelheim patentierten Verfahrens zur Herstellung von Kunststeinen. Gegen die Theorie dieses Verfahrens (D. R. P. Nr. 34 862), nach welchem gegenwärtig außer dem Erfinder noch eine Reihe anderer Firmen arbeiten, wird eingewandt, daß auf Grund der angeführten Eigenschaft des gebrannten Kalkes niemals ein wirklicher Stein, sondern nur ein gepreßter Mörtel entstehen kann, der dann erst, unter dem Einflusse der Kohlensäure der Luft, steinartig erhärtet. Wie nun aber auch der Erhärtungsvorgang sein mag, thatsächlich sind nach dem Avenariusschen Verfahren recht brauchbare Kunstsandsteine erzeugt worden.

Als Rohmaterial wird ein feiner, scharfer Sand verwendet, der einen Zuschlag von 10% feinst gemahlenem gebrannten Kalk erhält. Je nach Bedarf erhält die Masse kieselsäurehaltige, fein gemahlene Farbzuschläge, mittels deren graue, rote, braune, dunkle, graublaue Steine jeder gewünschten Körnung in den Apparaten erzeugt werden. Das innige Gemisch von Sand und Kalk wird in eiserne Formkasten gefüllt und in dampfdicht verschließbare Kessel geschoben. Hier werden die Formkästen drei Tage einem Dampfdruck von 3—4 Atmosphären ausgesetzt. Nach Ablassen des Wassers wird der Kessel geöffnet, und die Formkästen mit den fertigen Steinen werden herausgezogen. Die Druckkessel sind cylindrisch, 2—3 m lang und von einem Durchmesser von etwa 1,75 m. Der vordere Boden, sowie der Kesselrand, sind mit Gußringen, mit Nute und Wulst montiert und werden durch Schrauben und Verdichtung dampfdicht geschlossen. In dem Cylinder und vor demselben befindet sich ein kleines Schienengeleise, auf welchem der niedrige Plateauwagen, zur Aufnahme der Formkasten bestimmt, hineingeschoben und herausgezogen wird.

Zur Bildung der Formkasten dienen lose Boden- und Deckplatten, Kopf- und Seitenwände von 5—6 mm starkem Blech; außerdem werden die Kasten durch Einsetzen von Zwischenwänden in beliebige, dem Bedarf entsprechende Abschnitte geteilt. Die Formkasten selbst sind durch runde, miteinander verbundene Kopfplatten fest zusammengehalten, und außerdem die Deckplatte mit der Fußplatte durch kräftige Verstrebungen mittels dieser Kopfplatten abgesteift. Durch zwischen den einzelnen Formkasten befestigte Flacheisenschienen und durch kleine Öffnungen in den Deckplatten ist für den Zutritt des Wassers und Dampfes gesorgt. Vor und über den Apparaten arbeitet ein Laufkran, der sowohl die Platten der Formkasten, wie die fertigen Steine abhebt und sie an den für sie bestimmten Lagerplatz transportiert. Die Steine besitzen nämlich, noch heiß und dampfend, bereits eine solche Festigkeit, daß sie ohne Bedenken sofort transportiert und bearbeitet werden können.

Zum kontinuierlichen Betriebe sind vier Kessel erforderlich. Die Leistungsfähigkeit eines jeden beträgt etwa 3,5 cbm. Dies bedeutet bei 300 Arbeitstagen eine Jahresproduktion von rund 1000 cbm Kunststeinen. Hierzu sind erforderlich etwa 1000 cbm Sand und 180 000 kg gebrannter Kalk.

Weil sich in Ingelheim bald nach Inbetriebsetzung der Fabrik Bedarf nach größeren Blöcken zeigte, wurde ein Apparat eingeschaltet, der Werkstücke von 3,25 m Länge, 1,8—1,5 m Breite und von 0,75—1 m Stärke (rund 3,5 cbm) liefert. Von der Fabrik wurden schon 1893 über 1000 cbm teils behauene teils rohe Steine, hierunter auch eine Anzahl direkt geformter Säulen, sowie Ornamente und Figuren an über 40 verschiedene Bauten, die sich auf Wiesbaden, Frankfurt a. M. und die Umgebung von Nieder-Ingelheim und Rheinpreußen verteilen, geliefert.

Seit dieser Zeit haben eine ganze Anzahl anderer, auch norddeutscher Fabriken die Herstellung dieser Kunststeine übernommen, von denen einige Werke schöne Muster auf der Berliner Gewerbeausstellung 1896 zur Schau gestellt hatten. In Norddeutschland sind u. a. in Halberstadt und Herford zu mehreren Schulen und ist zum Ausbau des neuen Rathauses in Braunschweig der neue Kunstsandstein verwendet worden. Zu einem neuen Fassadenbau in Braunschweig wurden etwa 1400 cbm des Kunstsandsteins verwendet.

Eine Modifikation des beschriebenen Avenariusschen Verfahrens ist dem Chemiker Olschewsky in Berlin unter Nr. 76 542 patentiert worden. Bei dem Verfahren nach Patent Nr. 34 862 hat es sich nämlich als hinderlich erwiesen, daß man, um in einer Form eine größere Anzahl getrennter Steine zu erzeugen, einer großen Menge Formbleche bedurfte. Im Betriebe hat sich nun herausgestellt, daß für die Bildung eines in allen Teilen gleichmäßig fest zusammenhängenden Steines es ein unumgängliches Erfordernis ist, daß die genaue Mischung zwischen Kalk und Sand beibehalten wird. An jeder Stelle, an welcher diese Mischung geändert wird, so daß zu viel oder zu wenig Sand vorhanden ist, wird der innere Zusammenhang gestört. Diese Beobachtung ist benutzt worden, um in einem als ein einziger Stein hergestellten Produkt lockere Stellen in der Weise zu erzeugen, daß der Stein an ihnen leicht und mit Sicherheit gespalten werden kann. Wenn man aus dem in einem einzigen Kasten eingeformten Material nebeneinander zwei Steine bilden will, so ist zu diesem Zwecke nur nötig, an

der Trennungsebene derselben mit einem Blech einen durchgehenden Einschnitt zu machen und dann das Blech wieder herauszuziehen. Durch dieses Einstoßen und Herausnehmen entsteht ein schmaler Spalt, der sich zwar teilweise wieder ausfüllt, aber in einer Weise, daß der schwerere und lockere Sand zuerst von den getrennten Flächen abfällt, und dann erst das Kalkpulver. Es entsteht auf diese Weise eine Ebene, in welcher ein nur ganz ungenügender Verband der den Stein zusammensetzenden Teile stattfindet, und in dieser Ebene kann der fertige Stein mit großer Leichtigkeit gespalten werden. Wenn es sich um horizontale Trennungsflächen handelt, ist die Durchschneidung mittels eines Bleches oder Drahtes oder ähnlicher Vorrichtungen nicht mehr so gut thunlich. Man muß dann die Steine in den gewünschten Formen, von dem Boden des Formkastens ausgehend, aufbauen und die geformte Oberfläche mit reinem Sand oder einem anderen nicht einbindenden Material bedecken und danach auf dieser abdeckenden Schicht weiteres Material auftragen. Auf diese Weise erhält man gleichfalls einen Stein, der entweder von selbst auseinanderfällt oder doch Spaltflächen hat, in denen seine Teile sicher und leicht zu trennen sind.

Ein anderes Verfahren zur Herstellung künstlichen Sandsteines ist dem Kommerzienrat Jakob Pfeiffer in Kaiserslautern unter Nr. 82 785 patentiert worden. Dasselbe gipfelt in der praktischen Verwertung der Michaelisschen Entdeckung, daß abgelöschter Kalk auf Quarzsand und überhaupt auf kieselsäurehaltige Mineraltrümmer bei höherer Temperatur und besonders bei hohem Druck in der Weise einwirkt, daß sich dieselben in feste Gesteinsmassen verwandeln. Die praktische Durchführung des Erfindungsgedankens ist folgende: Im unteren Teil eines Druckkessels wird der für die jedesmalige nächste Mörtelbereitung erforderliche gebrannte Kalk aufgeschichtet. Die in Kunstsandstein überzuführenden Gegenstände, welche aus plastischem Mörtel gefertigt werden, sind in den Gerüsten des einzuschiebenden Wagens auf Unterlagen frei aufgestellt. Ist der Kessel beschickt und geschlossen, so wird durch ein Zuleitungsrohr Wasser zu dem am Boden des Druckkessels liegenden Kalk zugelassen. In dem Maße, wie sich der Kalk löscht, steigt die Temperatur und die Spannung der Wasserdämpfe im Innern des Kessels, so daß die in den Gerüsten liegenden Formstücke aus Mörtel sich in festes Gestein verwandeln können. Der im unteren Teil des Kessels befindliche vollkommen abgelöschte Kalk wird zur nächsten Mörtelbereitung benutzt.

Bei den bisher behandelten Verfahren der Kunstsandsteinfabrikation spielt die Behandlung der Rohmischungen mit heißem Wasser, Dampf, Kohlensäure u. s. w. eine hervorragende Rolle. Die Rohmassen werden zu diesem Zweck in besondere Räume (Brühkammern) gebracht, die nach außen hin abgeschlossen werden können. Die Brühkammern hatten vielfach den Übelstand, daß entweder, sofern dieselben aus Metall hergestellt waren, die heißen Dämpfe sich an den Wänden kondensierten, so daß in der Nähe der Wandungen niedere Temperatur herrschte, oder daß die Abkühlung der Kammer bei Herstellung derselben aus Mauerwerk nach Beendigung des Brühprozesses nur langsam und, bei Öffnung der Thüren, ungleichmäßig bewirkt werden konnte. William Büsche in Nieuport bei Brüssel hat sich nun eine Brühkammer unter Nr. 89 734 patentieren lassen, bei welcher einerseits die Kondensierung der Dämpfe an den Kammerwandungen während des Brühprozesses vermieden, anderseits aber gleichwohl eine rasche, auf allen Seiten gleichmäßige Abkühlung möglich ist. Dieses Resultat wird dadurch erreicht, daß der Brühprozeß in dünnwandigen Muffeln vorgenommen wird, die in geringer Entfernung von gut wärmeisolierendem Material umschlossen sind. Während des Brühens wird der Luftzwischenraum zwischen Brühkammer- und umgebendem Mauerwerk nach außen abgeschlossen, so daß die Brühkammer von einer ruhenden Luftschicht umgeben ist. Die Luftschicht nimmt, wenn zum Zweck des Brühens Dampf in die Kammer eingeleitet wird, rasch die Temperatur der letzteren an, da eine Wärmeausstrahlung im wesentlichen durch das umgebende Mauerwerk verhindert wird. Demzufolge kann eine Kondensation des Dampfes an den Wandungen der Brühkammer nicht eintreten. Nach Beendigung des Brühprozesses, wenn es darauf ankommt, eine rasche, gleichmäßige Abkühlung der Kammer zu bewerkstelligen, stellt man die Verbindung des die Kammern umgebenden Luftraumes mit der Außenluft her, so daß eine Luftzirkulation eintritt, dabei gibt die Brühkammer ihre Wärme an die durchstreichende Luft ab und kühlt sich verhältnismäßig schnell ab. Zur Beschleunigung der

Abkühlung kann man kältere, z. B. Kellerluft einführen. Soll das Material mit Dampf von hoher Spannung behandelt werden, so wendet man zweckmäßig cylindrische Kammern mit Blechwänden an.

Andere Verfahren der Kunstsandsteinfabrikation verzichten auf die Anwendung von Wärme und bedienen sich zur Herstellung der Verbindung zwischen den Sandkörnchen besonderer chemischer Mittel. Aus der Zahl derartiger Erfindungen, deren Wert nicht immer zweifellos ist, sei nur eine herausgegriffen. Wilhelm Bertina in Schierstein a. Rh. ist unter Nr. 71 298 ein Verfahren zur Herstellung von Kunstsandstein geschützt worden, welches sich auf die Anwendung von Fluorsalzen oder wässeriger Flußsäure mit Glaspulver und Steinmehlen in Verbindung mit alkalischen Erden gründet. Die Mischungsverhältnisse der einzelnen Materialien haben sich nach Art und chemischer Beschaffenheit derselben zu richten, jedoch beträgt die Sandmenge (Füllmaterial) stets etwa 90 %, während der Rest auf die Bindemittelbildner entfällt. Angenommen, es läge ein feinkörniger Quarzsand vor (es kann auch anderer Sand verwendet werden) und sollten beliebige Glasabfälle mit Kalkhydrat verarbeitet werden, so würde etwa folgendes Verfahren einzuschlagen sein: Zunächst ist der Sand durch Sieben in ein Kornverhältnis zu bringen, welches in der Stampf- oder Gießmasse die größte Dichtigkeit ergibt, wenn die Zusätze von Glas und Kalkhydrat in fein gepulvertem Zustande hinzukommen; dementsprechend ist der Glasbruch fein zu mahlen und der Ätzkalk trocken abzulöschen. Unter der Voraussetzung, daß mit dem Sand bereits ein günstiges Dichtigkeitsverhältnis erzielt wurde, genügen bei 4 % Glasmehl 5 % Ätzkalk und 1 % Fluorverbindungen. Nachdem das benötigte Wasser zur Bildung einer entsprechenden Stampf- oder Gießmasse durch Vorversuche festgestellt ist, wird das Glaspulver mit Wasser, dem etwas Flußsäure zugesetzt wurde, übergossen und mehrere Stunden in gelinder Wärme unter öfterem Umrühren stehen gelassen. Inzwischen ist der Sand mit dem Kalkhydrat sorgfältig vermischt worden, und das Gemenge wird mit der das Glas enthaltenden Flüssigkeit nunmehr durch weiteres Mischen in die gewünschte Stampf- oder Gießmasse verwandelt, deren Formen sofort beginnen kann. Entsprechend dem angewendeten Verfahren können die Stücke sogleich oder erst nach zwei Tagen den Holz- oder Metallformen entnommen werden, bleiben weiter zwei bis drei Tage an der Luft liegen, bis sie gut transportfähig sind, und kommen dann in ein kaltes Wasserbad mit etwa 1 % Zusatz von Fluornatrium, Fluorkalium, Fluorammonium oder Fluormagnesium, in welchem sie drei bis zehn Tage verbleiben; nach dem Verlassen dieses Bades werden die Formstücke in reinem Wasser, welches günstig auf 25—30° C. angewärmt wird, unter öfterem Erneuern des Wassers von etwa vorhandenen löslichen Salzen sorgfältig ausgelaugt und sind nach dem Abtrocknen zur Verwendung fertig. Wird der Sand von Fluor leicht angegriffen und ist das Glaspulver verhältnismäßig leicht in Flußsäure löslich, so kann die Vorbereitung des Glases mit Flußsäure wegbleiben und werden dann der Stampf- oder Gießmasse etwa 1 % Fluorsalze in trockenem, aber feinst verteiltem Zustand vor dem Anfeuchten beigegeben, während das weitere Verfahren dasselbe bleibt, jedoch mit der Modifikation, daß das lösende und verkittende Bad nur einen kleinen Zusatz eines Fluorsalzes erhält. Gleichbleibend ist die Anwendung des Sandes, des Glases oder Steinmehles und des Kalkes, während die Verwendung der Fluorsalze oder der Flußsäure sich nach den zu Gebote stehenden Materialien zu richten hat und entweder als trockene Beimischung zu der Formmasse, als Auflösung zu dem Formwasser oder als Zusatz zum Bad in Anwendung kommen.

Bis hierher handelte es sich um die Herstellung künstlichen Sandsteines, vorwiegend für bildnerische Zwecke. Sieht man von der Bearbeitungsfähigkeit künstlichen Sandsteines ab, so kann man naturgemäß in sehr viel einfacherer Weise aus Sand und Bindemittel Steine formen, die wohl für gewisse Bauzwecke verwendbar sind, wenn sie auch keinen vollen Ersatz für natürlichen Sandstein bieten können. Hierzu gehören die Sandstein-Mauersteine, welche neuerdings vielfach im großen hergestellt und beispielsweise auch auf den Nordseeinseln (Borkum u. s. w.), wo Dünensand in unerschöpflicher Menge zur Verfügung steht, als Ersatz für den von weit her zu schaffenden Ziegelstein benutzt werden. Die Anlagekosten für solche Sandstein-Ziegeleien sind sehr geringe gegenüber

denjenigen für Thonziegeleien. Da die Fabrikation — der Trockenbereitung wegen — mit Leichtigkeit auch während der Wintermonate vorgenommen werden kann, so können Bauunternehmer, wenn sie die Steine selbst herstellen wollen, ihre Arbeitskräfte auch während des Winters beschäftigen. Die Herstellungskosten der Sandstein-Mauersteine stellen sich für 1000 Mauersteine (Normalformat) auf rund 10 Mk., während sich bei gleichwertigen gebrannten Mauersteinen die Selbstkosten im günstigsten Falle auf 15 Mk. für 1000 Stück belaufen, und wenn der Thon geschlämmt werden muß, auf 18—20 Mk. Für Baustellen, an denen sich geeigneter Sand vorfindet, dürfte es sich empfehlen, die zum Bau nötigen Mauersteine unmittelbar an der Baustelle herzustellen, wodurch möglicherweise Ersparnisse zu erzielen sind. Die Steine schwinden bei ihrer Herstellung nicht. Da sie genau gleichmäßig geformt werden und bleiben, so können sie mit dünnstem Mörtel vermauert werden. Dies ergibt einerseits sehr schnell austrocknendes Mauerwerk und anderseits so vollkommene und ebene Mauerflächen, daß dieselben oft eines späteren Putzes mit Kalkmörtel nicht bedürfen, vorausgesetzt, daß sie nicht dem Wetter ausgesetzt sind. Vermutlich widerstehen diese Steine, die nur langsam erhärten, — denn sie bestehen ja nur aus feinem Sand und einem Bindemittel, sind also eigentlich Mörtelsteine — dem Froste nur in geringem Maße. Da sie auch nur eine geringe Druckfestigkeit aufweisen, wird ihre Anwendung eine beschränkte bleiben.

Die Druckfestigkeit eines Sandstein-Mauersteines wird wenig höher als auf 100 kg/qcm kommen, während nach den Veröffentlichungen über Ziegelprüfungen (in den Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten in Berlin, Jahrgang 1894) die Druckfestigkeit der gebrannten Ziegel im Mittel wesentlich höher angegeben wird. Sie beträgt bei sehr scharf gebrannten Klinkern im Mittel aus 55 Steinsorten 556 kg/qcm, bei hart gebrannten Verblendsteinen im Mittel aus 62 Steinsorten 319 kg/qcm, bei schwach gebrannten Hintermauerungssteinen im Mittel aus 43 Steinsorten 186 kg/qcm. Unter den 43 Steinsorten der letzten Reihe befinden sich nur zwei, die weniger als 100 kg/qcm Druckfestigkeit ergeben haben. Beide sind ungenannte Fabrikate; die eine hat im Mittel aus 10 Versuchen 53, die andere 99 kg/qcm Druckfestigkeit ergeben. Über die Druckfestigkeit der eigentlichen Kunstsandsteine, der Hydrosandsteine u. s. w. liegen zahlreichere Versuchsergebnisse nicht vor.

Wenn diese Kunststeine aber auch — wie dies wahrscheinlich ist — an Druckfestigkeit hinter den Naturprodukten zurückbleiben, so bilden sie doch immerhin ein wertvolles Baumaterial, welches seine Berechtigung in zahlreichen praktischen Verwendungsfällen durch ausreichende Festigkeit und Wetterbeständigkeit bewiesen hat.

Künstlicher Granit (Terrazzo), Granito, Granitoid.

Neben dem Sandstein ist von den natürlichen Steinen am meisten der Granit für Außenarbeiten nachgeahmt worden, aber nur in wenigen Fällen ist die Nachahmung wirklich gelungen, so daß der Kunststein wenigstens in einiger Entfernung einen granitähnlichen Eindruck macht. Ausgezeichnete Werkstücke, die dem natürlichen Granit täuschend ähnlich sehen, fertigt man aus feinkörnig gebrochenem, weißem Kalkstein oder weißem und schwarzem Marmor und bestem Portland-Zement im Mischungsverhältnis 3:1. Trotz des grobkörnigen Aussehens und der anscheinenden Porosität erreichen diese Steine eine sehr hohe Festigkeit.

Wenn man den Granit in seiner besonderen Eigenschaft als Trümmergestein auffaßt, so sind an dieser Stelle als Kunststeine auch die sogenannten Granitofabrikate, Granitoidplatten, Terrazzoplatten aufzufassen, welche aus zerkleinerten Hartgesteinen und einem Bindemittel durch Stampfen hergestellt werden. Das Wesentliche der Terrazzofabrikation besteht darin, daß man durch Einstreuen oder Einstreichen farbiger Steinstückchen in die einfarbige Grundmasse eine gewisse Musterung erzielt. Der Terrazzo wird zur Mosaik, wenn die farbigen Steinchen, in diesem Falle würfelähnliche Stücke oder Stifte, zu Mustern in eine Grundmasse eingesetzt werden.

Man benutzt für das Terrazzo gewöhnlich ein Gemenge von Marmor-, Granit-, Basalt- u. s. w. Abfällen, welche zu erbsengroßen Stückchen zerkleinert werden, und verwendet entweder die einzelnen Farben für sich, oder es werden mehrere Farben zusammengemischt

zu einem Mörtel aus 1 Teil Zement mit 2—$2^1/_2$ Teilen Terrazzo-Körnung. Die Masse kann zur Herstellung der verschiedenartigsten Gegenstände, z. B. Tischplatten, Säulen, Treppenstufen, Badewannen u. s. w. benutzt werden, findet aber vorwiegend Anwendung für Fußböden, die entweder direkt gestampft und geschliffen oder aus Terrazzoplatten zusammengesetzt werden. Im ersteren Falle wird auf einer bereits erhärteten und geglätteten Betonunterlage die Terrazzomischung aufgetragen, gewalzt und geschlagen, bis die Oberfläche gleichmäßig ist und die Steinchen möglichst flach und dicht an der Oberfläche liegen. Nach einigen Tagen wird der so hergestellte Fußboden mit einem grobkörnigen Sandsteinquader, der in eiserner Krampe an einem Holzstiele befestigt ist, unter beständigem Begießen mit Wasser so lange geschliffen, bis eine völlig ebene und glatte Fläche erzielt ist. Nach Abspülen mit Wasser werden die etwa zu Tage gekommenen Hohlräume mit gefärbtem Zement „ausgespachtelt", dann wird zum zweitenmal mit einem feineren Stein (Bimsstein) geschliffen und dies Verfahren bis zur Entstehung einer gleichmäßigen, dichten Oberfläche fortgesetzt, die nunmehr poliert werden kann. Eine matte Politur wird durch Ölen des Bodens und Verreiben des Öles mit wollenen Lappen hergestellt. Hochglanzpolitur stellt man her, indem man 1 Teil englisches Wachs, $^1/_{10}$ Stearinöl, $^1/_{10}$ Zinnasche und etwas Terpentin zusammenschmilzt und die erstarrte Masse mit zusammengeballten Leinwandlappen auf den Boden aufreibt; oder man bestreicht die zu polierenden Flächen mit Wasserglas, bis nichts mehr einzieht, schleift die Fläche mit Bimsstein glatt und reibt sie dann mit Schmirgelpulver und Leinwandballen, die abwechselnd mit Wasserglas und Alaunwasser angefeuchtet werden. Zuletzt wird mit Schwefelpulver oder Zinnasche nachpoliert.

In derselben Weise werden Terrazzofußbodenplatten (Fliesen) angefertigt, nur daß man sich zur Formgebung eiserner Formkästen bedient und, um den Platten die erforderliche Dicke ($2^1/_2$—3 cm) zu geben, gleichzeitig die Betonunterlage mit einstampft.

Granito ist eine Abart dieser Terrazzomasse. Man stellt ihn entweder aus klein gebrochenem Granit oder aus den Graupen der Blei-Silber-Bergwerke, die bis zu 5 mm Korngröße gesiebt werden, her.

Auch die sogenannten Granitoidplatten sind nichts weiter als in der beschriebenen Weise hergestellte Platten aus fein gebrochenen Hartgesteinen und Zementmörtel, dessen Menge möglichst gering bemessen wird. Um diese Platten so dicht wie irgend möglich herzustellen, wird die gemischte Masse auf mechanischem Wege durch Rütteln in die Formen gebracht. Die vielen schnell aufeinander folgenden, dem Formtische mitgeteilten Stöße bewirken eine sehr dichte Lagerung der Steinmassen und vollständige Ausfüllung der Lücken mit Mörtel. Die in dieser Weise voll gerüttelte Form wird dann noch unter eine Presse gebracht.

Selbstverständlich gibt es noch eine ganze Reihe anderer Verfahren zur Herstellung von Hartgestein-Imitationen, die zum Teil durch Patente und Gebrauchsmuster geschützt sind. Alle verfolgen den Zweck, die Kunststeinplatten möglichst dicht und widerstandsfähig zu gestalten und mit einer harten Oberfläche zu versehen, deren Aussehen man nach Wunsch gestalten kann, die aber in allen Fällen die größtmögliche Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse haben soll.

Nachahmungen natürlicher Steine für den inneren Ausbau.

Die Schwierigkeit, überall da, wo politurfähige und in Farbe und Struktur wirkungsvolle Steine von Natur nicht vorkommen, derartige Gesteine zu verwenden, die dann von weit her, zuweilen unter erheblichen Kosten bezogen werden müssen, und die erhöhten Ansprüche, die man an die innere Ausschmückung unserer öffentlichen und privaten Wohnhäuser stellt, haben eine schnelle, und man kann sagen erfolgreiche Entwickelung derjenigen Nachahmungen mit sich gebracht, welche dazu dienen, einen billigen Ersatz zu liefern. Vornehmlich hat sich das Bestreben, den Marmor, jenen vornehmsten Baustein, der bei uns selten und dementsprechend kostspielig ist, nachzuahmen, in zahlreichen Erfindungen bethätigt. Namentlich hat sich dieses Bestreben auch auf die Veredelung des Kalkputzes erstreckt oder auf die Herstellung solcher breiförmig zu verwendenden Massen,

welche eine leichte Bearbeitung und ein dem Marmor ähnliches Aussehen ermöglichen. Aber auch andere weiche Gesteine, z. B. dichte Kalksteine und Gipsfelsen sind dazu verwendet worden, Marmorimitationen zu erzeugen.

Bekanntlich wird aus Belgien ein „schwarzer Marmor" bezogen, der eigentlich nichts anderes als geschickt präparierter Schiefer ist, der mit Sandstein geebnet, mit künstlichem Bimsstein fein geschliffen und zuletzt mit besonders feinem Naturbimsstein für die Politur vorbereitet wird. Die Schleiffläche zeigt dann ein feines, sammetartig weiches Aussehen. Die Platte wird nun getrocknet, erwärmt und mit einer gleichfalls erwärmten Mischung von Öl und Kienruß getränkt. Am nächsten Tage wird das Verfahren wiederholt und so lange fortgesetzt, bis der Schiefer sein graues Aussehen verliert. Hierauf wird die Fläche mit Schmirgel und zuletzt mit Zinnasche und Kienruß fein poliert. Die Politur wird durch in Terpentinöl aufgelöstes Wachs, dem ebenfalls Kienruß beigemischt wird, befestigt. Der so behandelte Schiefer erscheint tiefschwarz, wie schwarzer Marmor. Die polierten Flächen können wie Marmor geätzt, graviert, vergoldet und versilbert werden.

Entwässerter (gebrannter) Gips kann durch Tränkung mit Lösungen gut kristallisierender Salze gehärtet und auch schön gefärbt werden. Doch hat sich die Ausbeutung dieser Erfahrung für die Herstellung von Kunststeinen in größerem Maßstabe bisher darin schwierig gezeigt, daß die Salzlösungen, deren man zur Tränkung des Steines bedarf, schon an der Oberfläche des Steines auskristallisieren und somit sich selbst den Weg in das Innere versperren. H. A. Majewski in Berlin hat diesem Übelstande in seinem D. R.-P. 69 527 dadurch abzuhelfen gesucht, daß er eine Flüssigkeit verwendet, die solchen gut kristallisierenden Salzen den Zutritt bis in das Innere des Gesteins verschafft, welche mit Schwefelsäure stark haltbare Doppelsalze bilden. Als solche Leitflüssigkeit, mit welcher er den Stein eventuell unter Anwendung einer Luftsaugevorrichtung tränkt, empfiehlt er die konzentrierte Lösung des Calciumsulfids $CA_2\ SO_3$. Auch andere Verfahren, dem in Platten zerlegten dichten Gipsstein ein marmorähnliches Aussehen zu verleihen, sind vielfach mit größerem oder geringerem Erfolge geübt worden, doch sind diese und alle ähnlichen Marmornachbildungen ziemlich kostspielig und dabei nicht wetterbeständig, so daß sie nur für die Ausschmückung von Innenräumen in Frage kommen.

Abfälle aus Kalkstein und Marmor verwendet Hans Hauenschild in Berlin zu seinen Kunststeinen, deren Herstellungsverfahren unter Nr. 83 321 patentiert ist. Er will diese Abfälle wieder in Steine von genügender Festigkeit, leichter Formbarkeit, vollständiger Wetterbeständigkeit und von gleicher Zusammensetzung verwandeln, aus welcher die ursprünglichen Gesteine bestanden. Zu diesem Behufe werden die als Abfälle oder natürlich vorkommenden Kalk- oder Dolomitsande so zerkleinert bezw. sortiert, daß sie eine dem beabsichtigten Zwecke entsprechende Sandkorngröße haben. Zur Herstellung der künstlichen Steinmasse werden zu 80—82 Gewichtsteilen Kalksand 18—20 Gewichtsteile entweder zu Staub gelöschten oder in Breiform gebrachten Kalkes am besten maschinell in der Weise zugemischt, daß sich eine möglichst wenig poröse, eben noch plastische Masse bildet, die sodann in Formen gepreßt wird. Die an der Luft sofort beginnende Erhärtung wird in verschlossenen Gefäßen unter längerer Erhitzung durch die ganze Masse hindurch bewerkstelligt, indem sich dabei nach Hauenschilds Ansicht eine hydraulische Modifikation kristallinischen Kalkhydrates bildet, und nach den Ergebnissen seiner Versuche sich auch beginnende Bildung von basisch kohlensaurem Kalk vollzieht. Zweckmäßig kann zur Unterstützung des Karbonisierungsprozesses während der maschinellen Mischung und vor der Erhitzung kohlensaures Ammon beigemengt werden. Die Menge desselben wird so groß bemessen, daß etwa ein Drittel bis die Hälfte des vorhandenen Kalkhydrats durch die Kohlensäure des Ammon gesättigt wird. Das kohlensaure Ammon wird dabei zersetzt, und das Ammoniak läßt sich wiedergewinnen. Von anderen Methoden zur Herstellung von künstlichen Steinen unterscheidet sich das beschriebene Verfahren dadurch, daß eine Hydrosilikatbildung hier nicht stattfinden kann, da die Gegenwart von Silikaten ausgeschlossen oder unwesentlich ist, und die Rückbildung von kristallinischem Kalkkarbonat beabsichtigt wird.

Die Theorie, welche dem Hauenschildschen Verfahren zu Grunde liegt, hat von anderer Seite erhebliche Anfechtungen erfahren. Das Vorhandensein von kristallinischem Kalkkarbonat wird geleugnet, und es wird behauptet, daß aus Kalkhydrat und Kalksand nach dem Hauenschildschen Verfahren nur durch Kohlensäureaufnahme von außen erhärtete feste Körper erzielt würden, wie jeder Luftmörtel auch ist, nicht aber wirklich steinartige, dichte Massen.

Kalksteinpulver, d. h. mehr oder weniger feines Marmorpulver, und Glaspulver gemischt und mit einer wässerigen, Hausenblase oder Gelatine enthaltenden Alaun- oder Chromalaunlösung verarbeitet, benutzt M. Spöttel in München nach D. R.-P. 71 299 zur Herstellung angeblich wetterfester, weißer Steine. Dem innigen Gemisch des Steinpulvers mit der wässerigen Lösung wird noch eine Lösung von Wachs oder Ceresin in Terpentinöl oder Kampferöl zugemischt, wodurch der Masse Wasserdichtigkeit und Wetterbeständigkeit verliehen werden soll. Das Ganze wird zu einer knetbaren Masse verarbeitet und in entsprechende Formen gepreßt. Hierbei werden die einzelnen Teilchen der Masse mit einem dünnen Wachsüberzug versehen, der nach dem Verdunsten des Lösungsmittels zurückbleibt und die Wasseraufnahme verhindern soll.

Zunächst den Kunststeinen, welche sich vorwiegend aus mehr oder weniger zerkleinerten und vorbereiteten natürlichen Steinen zusammensetzen, steht die große Reihe derer, die sich ihrer Beschaffenheit nach den Mörteln nähern oder ihnen sogar gleichen und die eine sehr reiche Auswahl an farbigen Putzflächen zur Verfügung stellen. Diese Massen besitzen vorwiegend die Eigenschaft, gegossen werden zu können und somit sehr bildsam zu sein.

Ein Verfahren zur Herstellung von solchen speziell marmorartigen Kunststeinen ist z. B. unter Nr. 84 998 einem Dänen Bald. Gran in Deutschland patentiert worden. Man rühmt diesem Kunststein große Farbenfrische und eine glasartige Oberfläche bei bedeutender Härte nach. Nach dem Verfahren werden 300 Teile Gips, 180 Teile Quarz, 70 Teile Feldspat und 25 Teile Borsäure zunächst mit Wasser verrührt, dann unter Zusatz gefärbter Silikate zu einem Teig geformt, hierauf vorgetrocknet und schließlich sorgfältig geglüht. Nach Angabe der Patentschrift sollen so hergestellte Gebilde für Wasser undurchlässig sein und eine sehr große Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse besitzen, so daß sie sogar als Schmuck der äußeren Gebäudeteile Verwendung finden können. Es steht jedoch zu befürchten, daß die Masse beim Erstarren erheblich schwindet und daß hier wie in anderen gegossenen Steinen die Luftblasen, die in jeder Gußmasse unvermeidlich oder mindestens schwer zu entfernen sind, die Gleichmäßigkeit des Gefüges unterbrechen und eventuell Veranlassung zu Zerstörungen geben.

Die Zahl der in ähnlicher Weise hergestellten Kunststeine und der Patente auf Verfahren zur Fabrikation solcher Steine ist so groß, daß es unmöglich ist, auch nur annähernd alle aufzuführen. Wir müssen uns an den gegebenen Beispielen genügen lassen, und es kann auch die Herstellung von Stuckmarmor, für die es eine ganze Anzahl verschiedener Fertigungsarten gibt, nur mit wenigen Worten gestreift werden.

Stuckmarmor findet nicht nur zur Herstellung glatter und glänzender Wandflächen, Säulen, Pfeiler, Balluster u. s. w. Anwendung, sondern auch zu Möbelplatten, wobei besonders auf saubere Arbeit und große Festigkeit Wert gelegt werden muß. Solche Platten werden auf Glasunterlagen hergestellt, damit sie eine glatte glänzende Oberfläche erhalten. Die Glasplatte wird mit einer Mischung von Petroleum und Terpentinöl eingerieben, mit Formrahmen überdeckt und nun durch Aufstreuen von schwarzem oder farbigem Zement die gewünschte Aderung auf dem Muster hergestellt. Die größere oder geringere Geschicklichkeit des Arbeiters bei dieser Hantierung bedingt die höhere oder geringere Schönheit der erzeugten Platte. Auf diese Aderung kommt dann die eigentliche Marmormasse, bestehend aus 1 Teil weißer Farbe und 5 Teilen Zement oder 1 Teil Caput mortuum (hellrot) und 1 Teil Weiß, gemischt mit 5 Teilen Zement. Wenn die ganze Form etwa $1—1^1/_2$ cm dick mit der Farbenmasse vollgestrichen ist, wird sie mit Zementmörtel aus 1 Teil Zement und $^1/_2$ Teil Sand erdfeucht ausgefüllt, eingestampft und abgestrichen. Nach etwa einer Woche ist die Platte so weit erhärtet, daß die Glastafel entfernt werden kann. Die Oberfläche wird dann ausgespachtelt, um etwaige Hohlräume auszufüllen, und poliert.

Haben die bisher besprochenen Kunststeine alle den mehr oder minder deutlich hervortretenden Zweck, einen bestimmten Naturstein zu ersetzen, so gibt es doch noch eine ganze Reihe von Baustoffen, bei denen von einer Imitation des Natursteines keine Rede ist und die nur den Namen von solchen entlehnen, oder auch hierauf verzichten und lediglich bezwecken, einen billigen Baustein irgend welcher Art, thunlichst unter Verwendung von Abfallstoffen verschiedensten Ursprunges, herzustellen. Neben diesen bilden dann die Kunststeine, welche vermöge besonders großer Porosität oder Leichtigkeit als Isoliermittel gegen Schall und Wärme geeignet erscheinen, eine besondere Klasse. Zur letzteren gehören alle die Steine, welche aus Bimsstein, Kieselguhr oder Korkabfällen erzeugt werden. Im Neuwieder Becken hat sich eine ganze Industrie gebildet, welche die aus dem Eruptionsgebiet der längst erloschenen Vulkane der Eifel herrührenden Bimssteine zu Mauersteinen verarbeitet. Der in erbsengroßen Stücken abgesiebte Bimsstein wird im Verhältnis 9 : 1 mit Kalkmilch gemischt und in Formen gefüllt; die Masse erhärtet zunächst in der Form, dann an der Luft zu mäßig festen aber sehr leichten Steinen, die für leichte Gewölbe, isolierende Wände u. s. w. verwendet werden. Die Festigkeit dieser Steine ist natürlich ausschließlich von dem Bindemittel abhängig. Sie schwankt zwischen etwa 10 und 30 kg für 1 qcm, je nachdem Kalkmörtel oder Zementmörtel als Bindemittel benutzt wird. Das Raumgewicht der Schwemmsteine beträgt etwa 0,71.

Ähnliche Steine, doch nicht ganz so leichte, erzeugt man in der Größe der gewöhnlichen Ziegelsteine (25 × 12,5 × 6 cm) aus Gips, Kalk und Sägemehl oder gewöhnlicher Asche, Schwefelsäure und Alaun. Die Mischung wird in Holzformen gegossen, und die Herstellung soll so einfach sein, daß drei Arbeiter mit fünf Formen täglich bis zu 3000 Steinen machen können.

Neben dem Bimsstein findet Kieselguhr als einer der leichtesten der in der Natur vorkommenden Stoffe von mineralischer Beschaffenheit vielfach Verwendung zu leichten Bausteinen. Dr. Heinzerling hat unter Nr. 71 179 ein Patent auf die Herstellung solcher Steine erhalten, nach welchem man 16 Teile Kartoffelstärkemehl mit ungefähr 16 Teilen Wasser zu einem feinen Brei verrührt, dem man unter Umrühren 8 Teile Kali- oder Natronlauge vom spezifischen Gewicht 1,21 zusetzt. Hierdurch entsteht eine gelatineartige Mischung, welcher so viel Kieselguhr zugesetzt wird, daß eine zum Formen oder Pressen geeignete Masse entsteht, die sehr rasch trocknet und verhältnismäßig harte Steine von großer Leichtigkeit und geringem Wärmeleitungsvermögen bildet. Das Stärkemehl, welches mit Ätzkali in eine lehmartige Verbindung übergeführt wird, hat sich als vorzügliches Bindemittel für Infusorienerde erwiesen. Kieselguhr verwendet auch Dr. Grote zu seinen nach D. R.-P. 55 919 hergestellten sogenannten Kunsttuffsteinen, deren Hauptbestandteil, Kieselguhr mit Gips als Bindemittel, durch Zusätze von Weinstein, kohlensaurem Kalk und Eisenvitriol stark blasig aufgetrieben wird, so daß der Stein außerordentlich leicht wird. Das Raumgewicht dieser Steine wird auf 2,2 bis 0,45 angegeben. Das Verfahren soll gestatten, die Größe der Luftzellen je nach der beabsichtigten Verwendung beliebig zu wählen, von der feineren Porosität der Knochenkohle bis zum luftigen Gewebe eines groben Badeschwammes. Besondere Vorrichtungen für die Herstellung sind nicht erforderlich, so daß die Steine auch auf der Baustelle in jeder Form fabriziert werden können. Als Mörtel zur Verbindung der einzelnen Stücke dient ein Gemisch von Kieselguhr und Gips. Die Steine sollen sich mit der Säge bearbeiten und nageln lassen. Die Widerstandsfähigkeit gegen Feuer soll eine große sein, doch ist die Widerstandsfähigkeit gegen Stöße und andere mechanische Angriffe anscheinend noch nicht so weit geprüft, daß das Material für Bauzwecke allgemein Verwendung finden könnte.

Immer mehr Verbreitung haben in letzter Zeit Korksteine und Korksteinplatten gefunden, namentlich in der Kälte-Industrie. Diese Steine werden in der Hauptsache aus den kleinen Abfällen des Korkholzes bereitet, die mit gewissen Mineralien, zumeist Luftkalk und Thon, vermischt, in Formen gepreßt, nach Trocknung bei 120—150° feste Steine zur Aufmauernng von Zwischenwänden u. s. w. liefern. Zum Aufmauern dieser Steine wird als Bindemittel meistens Gips, jedoch auch Mörtel und in besonderen Fällen Asphalt angewendet. Die Korksteine lassen sich schneiden, sägen und nageln wie Holz.

Ihre Verwendung wurde auf der Sächsisch-Thüringischen Gewerbe-Ausstellung zu Leipzig im Jahre 1897 von R. Stumpf an einem kleinen Pavillon gezeigt. Während der gewöhnliche aus Thon gebrannte Ziegel etwa 4 kg wiegt, ist das Gewicht des Korksteines von gleicher Größe nur annähernd 600 g und sein Raumgewicht nur 0,25—0,3. Wider Erwarten sind die Korksteine auch nicht entflammbar und verhältnismäßig widerstandsfähig gegen Wasser.

Unter den Steinen, welche aus Abfällen anderer Industrien erzeugt werden, nehmen die vielfachen Arten der Schlackensteine eine hervorragende Stelle ein. Bei den großen Mengen von Hochofenschlacken, welche auf den Eisenhütten jahraus jahrein erzeugt werden und sich zu ungeheuren Bergen ansammeln, ist die praktische Verwendung der Hochofenschlacken für viele Hütten geradezu eine Notwendigkeit geworden. Durch Granulieren kann die Schlacke in einen feinen, körnigen Sand zerlegt werden, der die mannigfachste Verwendung findet; ein anderer Teil der Schlacken wird in eiserne Formen gegossen und nach dem Abkühlen auf Halden ausgestürzt. Das Granulieren geschieht in der Weise, daß die rotglühende, in dünnem Strahl aus dem Ofen fließende Schlacke in eine Rinne mit schnell fließendem Wasser geleitet wird, in welchem sie in feine Körner zerfällt. Basische granulierte Schlacke heißt hart, ist eisenhaltiger als die saure und hat eine bläuliche Färbung, saure granulierte Schlacke heißt weich und ist heller gefärbt. Die granulierte Schlacke wird getrocknet, bevor sie zur Verwendung kommt. Sie kann zur Fabrikation von Steinen mit Vorteil verwendet werden. So verarbeitet beispielsweise die Georgs-Marienhütte in Osnabrück jährlich 12 Doppelladungen Schlacke à 200 Zentner zu Steinen im Normalformat der gebrannten Ziegelsteine.

Zu dieser Fabrikation wird neben der granulierten auch noch gemahlene Schlacke benutzt. Die von den Halden entnommenen Schlackenstücke werden, nachdem die größten Stücke zerfallen sind, auf Steinbrechern vorgebrochen und dann auf drei Korngrößen gesichtet. Das durch ein Sieb von 2 mm Maschenweite Fallende ist Schlackengrand, das durch ein Sieb 30 mm Fallende gibt Wegekies und dient als Betonmaterial, das gröbere ist ein brauchbares Stopfmaterial für den Eisenbahnoberbau. Der Schlackengrand wird mit gelöschtem Kalk und granulierten Schlacken in einem Kollergange mit Wasser gemischt und bildet so den sogenannten Steinmörtel. Dieser Steinmörtel wird im Verhältnis 1:8 in Mischwerken mit granulierter Schlacke gemischt und in einer Hebelpresse zu Steinen geformt. Eine Presse liefert in 10 Stunden 8000 Steine. Nach Bedarf können die grau und unscheinbar aussehenden Schlackensteine auch ziegelrot gefärbt werden und sind dann in der Mauer von gebrannten Ziegeln kaum zu unterscheiden. Jährlich werden auf der Georgs-Marienhütte $7\frac{1}{2}$ Millionen solcher Schlackenziegel hergestellt, die Fabrikation soll aber bis auf 12 Millionen vergrößert werden. Neben den Ziegeln werden auch Blöcke, Treppenstufen u. s. w. aus Schlackenmasse gestampft oder gepreßt und nach der Erhärtung scharriert; sie sind dann von natürlichen Hausteinen kaum zu unterscheiden. Die gewöhnlichen Schlackensteine, die allerdings zu ihrer Erhärtung an der Luft geraumer Zeit bedürfen, bilden mit Schlackenmörtel zusammen ein außerordentlich festes Mauerwerk. Als Nachteil der Schlackenmauern wird ihre große Porosität angeführt, die eine zu große Luftdurchlässigkeit zur Folge haben soll; außerdem ist die Druckfestigkeit der Schlackensteine erheblich geringer als die der gebrannten Ziegel und ihre Feuersicherheit wird angezweifelt.

Läßt man die abgestoßene Eisenhochofenschlacke zuerst in einen Vorsumpf und aus diesem dann plötzlich in einen zweiten, teilweise mit Wasser gefüllten Sumpf einlaufen, so wird die Schlacke in eine zellige, bimssteinartige Masse verwandelt, die man nach dem Erkalten mit der Säge in ziemlich regelmäßige Stücke zerschneiden und für leichte Bauwerke verwenden kann. Die Verwendung der sauren, langsam abgekühlten Schlacken zu Bau- und Pflastersteinen bildet eine besondere Industrie, die hier nur erwähnt sein mag.

Mehr oder minder unter Verwendung von Abfällen, als da sind Stroh, Jutefaser, Kokosfaser, Tauenden, Lederüberresten u. s. w. arbeitet die Industrie der Magnesiasteine und -platten, für welche eine ganze Anzahl Herstellungs-Verfahren bekannt geworden sind. Besondere Vorzüge unter diesen Verfahren werden dem D. R.-P. Nr. 88859

des Dr. Preußner nachgerühmt. Bei der Verwendung des Magnesiazementes zur Herstellung von künstlichen Steinen stellt sich nämlich als ein Hauptnachteil der Fabrikate ihre geringe Raumbeständigkeit heraus. Veränderungen in der Härte und im äußeren Aussehen solcher Steine werden scheinbar besonders durch den Umstand hervorgerufen, daß die käufliche gebrannte Magnesia oft sehr große Mengen Kalk enthält, der sich in Verbindung mit Chlormagnesium oder Salzsäure in Chlorcalcium verwandelt, welches beständig Wasser anzieht und die Gegenstände ausdehnt, rissig, brüchig und unansehnlich macht. Versuche haben ergeben, daß durch Zusatz von saurem phosphorsauren Kalk diese Übelstände sich beseitigen lassen. Zum Zweck der Herstellung vermischt man 1000 g rohe Salzsäure von 22° B mit 500—1000 g Wasser und 4000—6000 g gebrannter Magnesia. Dieser Mischung setzt man nach Bedarf die Füllmasse hinzu. Als Füllmasse benutzt man Sand, Feuerstein, Flußspat, Marmor, Baryt sowie auch geeignete Mineralfarben und nach Bedarf organische Substanzen, wie Sägemehl, Zellstoffe und Faserstoffe aller Art. Fügt man nun der Masse die Lösung von saurem einbasisch phosphorsauren Kalk in dem Verhältnis von einem Viertel bis zur Hälfte der verwendeten Salzsäure hinzu, so geht dieser sofort unlösliche Verbindungen ein, durch welche die entstehenden Körper große Härte erlangen und die Bildung des in Wasser löslichen Chlorcalciums verhindert wird. Ob dadurch die Wetterbeständigkeit der so erzeugten Baustoffe völlig gesichert ist, hat wohl noch nicht ausreichend geprüft werden können.

Ganz geheimnisvoll klingt die Nachricht von der Erfindung eines neuen Baumaterials „Petrophit", das in Rußland erfunden worden ist, dessen Herstellung aber noch geheim gehalten wird. Sand, Schwarzerde, Stroh, Watte und Papier sollen nach diesem Verfahren in 24 Stunden nach dem Anrühren steinhart werden und sich auf diese Weise zu künstlichen Steinen von größerer oder geringerer Dichtigkeit und Härte verwenden lassen, die nicht nur kein Wasser, sondern nicht einmal Luft durchlassen, vollständig frostbeständig sind und sich dem Aussehen jedes natürlichen Steines wie Marmor, Granit, Sandstein u. s. w. anpassen lassen. „Petrophit" über Segeltuch oder Stroh gegossen, soll panzerartige Gebilde ergeben, die auch dem Feuer Widerstand leisten. Ob sich die etwas fabelhaft klingenden Nachrichten bewahrheitet haben, ist in Deutschland nicht bekannt geworden. Möglicherweise wird der neue Baustoff in Rußland bereits im Großen fabriziert.

Der Gedanke, Papier als Baumaterial zu verwenden, stammt aus Nordamerika, wo bereits im Jahre 1857 in Wisconsin eine kleine Fabrik für solche Baustoffe eingerichtet wurde. Das Baupapier, welches jetzt in großen Mengen bereits Verwendung findet, hat die Form von sehr dicken und festen 2—3 m im Quadrat haltenden Tafeln, die je nach der Dicke 30—100 kg wiegen. Man baut aus ihnen Häuser, die, weil Papier ein schlechter Wärmeleiter ist, im Winter weniger kalt, im Sommer weniger warm als Steinhäuser sind. Ein Überzug von harzigen Stoffen schützt die Wände von außen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit. Ein solcher Überzug dürfte aber die Feuergefährlichkeit wesentlich erhöhen. Auch zu Fußböden wird in Amerika Papier verwendet. Hier besteht der Hauptvorzug in dem Fortfallen der Fugen, wodurch das Ansammeln von Staub und Ungeziefer zur Unmöglichkeit wird, und in dem geringen Preis, der bedeutend geringer sein soll als der Preis der Fußböden aus hartem Holz. Für Fußbodenzwecke erhält die Papiermasse einen kleinen Zusatz von Zement als Bindemittel. Sie wird als feines Pulver in Säcken verschickt und als fester Brei auf dem Boden ausgebreitet, mittels Walzen eingepreßt und nach erfolgter Trocknung in holzähnlicher Farbe gestrichen. Auch Ziegelsteine aus Papier werden gefertigt, denen zur größeren Haltbarkeit Zinksulfat zugesetzt wird. Einige andere Zusatzstoffe, welche vorwiegend die Härtung bewirken sollen, sind noch Geheimnis des Erfinders. Die Masse wird unter hohem Druck gepreßt und in einem Ofen 48 Stunden lang bei nahe 100° C. getrocknet. Welche Haltbarkeit solche Steine besitzen, ist nicht bekannt geworden.

In Deutschland hat man Papiermasse für Bauzwecke unter dem Namen „Papyrolith" in den Handel gebracht. Auch die Papyrolithmasse wird in pulverförmigem Zustande versandt und an Ort und Stelle estrichartig etwa 15 mm dick auf Holz-, Beton-

oder Ziegelunterlage aufgetragen. Innerhalb 5—6 Tagen soll sich der so erhaltene Fußboden mit der Unterlage und dem seitlichen Mauerwerk fest verbunden haben. Die Masse ist besonders für öffentliche Gebäude, Schulen, Kirchen, Theater, Krankenhäuser, Markthallen u. s. w. in Aussicht genommen. Der Preis des einfarbigen Fußbodens beträgt 6 Mark für das Quadratmeter. Die Firma Otto Kraner in Einsiedel bei Chemnitz versendet auch Papyrolithplatten, die unter hohem Druck in jeder Art Muster glatt und gerippt hergestellt werden. Sie sollen nicht wie Holz mit heller Flamme brennen, sondern nur verkohlen, und gegen Feuchtigkeit unempfindlich sein; ihre Abnutzung ist gering, und sie lassen sich wie Holz verarbeiten, sägen, hobeln und bohren, aber auch wie Stein, da sie geschliffen und poliert werden können.

Oberflächen-Härtungsmittel und Steinkitte.

Mit den steigenden Ansprüchen, welche man an die Widerstandsfähigkeit der Baustoffe gegen Witterungseinflüsse stellt, geht das Bestreben Hand in Hand, solche natürliche und künstliche Bausteine, die sich durch besonders schönes Aussehen oder durch leichte Bearbeitungsfähigkeit auszeichnen, wie manche Marmorarten und die meisten Sandsteine, von der Oberfläche her nach ihrer Bearbeitung noch besonders zu härten und somit gegen die Einflüsse der Atmosphärilien widerstandsfähiger zu machen.

Das Erfordernis einer solchen Konservierung der Steine ist ein so wichtiges und unumgänglich notwendiges geworden, daß eine Erfindung, welche L. Keßler auf diesem Gebiete machte und sich in Deutschland unter Nr. 27083 patentamtlich schützen ließ, sofort weite Verbreitung und umfassende Anwendung gefunden hat. Im Gegensatz zu allen bisher üblichen Methoden der Konservierung von Steinen, wie das Bestreichen mit Leinöl, weichem Wachs, Harzlösungen, Ölfarbe u. s. w. suchte Keßler die Lösung der Frage darin, daß durch neue Bildung einer künstlichen, äußerst harten und unverwitterbaren Steinmasse in den Poren des Steines selbst ein wirksamer Schutz erzielt wird. Solche Mittel fand Keßler in den sogenannten Fluosilikaten (abgekürzt Fluaten), welche an und für sich in wasserklaren dünnflüssigen Mineralösungen bestehend, leicht durch Tränken mittels eines Pinsels oder einer Zerstäubungspumpe in die Oberfläche des Steines eingeführt werden können und dort mit Bestandteilen der Steinmasse selbst rasch eine Umsetzung in unlösliche feste Substanzen erfahren, welche hauptsächlich in Flußspat, Kieselsäure und unlöslichen Metallsilikaten bestehen. Eine Haupteigenschaft der Fluate, welche sie für den beabsichtigten Zweck besonders geeignet macht, ist die, daß ein damit behandelter Stein in seinem Aussehen keine nennenswerte Änderung erleidet, daß weder die Farbe noch das Korn sich wesentlich ändert und auch keine glasurartige Schicht an der Oberfläche des Steines gebildet wird. Außer bei natürlichen, weichen Gesteinen finden die Fluate auch auf alle härtungsbedürftigen künstlichen Baumaterialien wie Zement; Kalkmörtel, Gips, Thonwaren u. s. w. Anwendung. Entsprechend den verschiedenen Zwecken und Bedürfnissen hat Keßler verschiedene Fluate mit verschiedenen Eigenschaften und Wirkungen präpariert, von denen das Magnesiafluat das am meisten in Anwendung kommende ist. Es härtet die meisten weichen Kalk- und Sandsteine und dient auch besonders zum Härten von Mörtel, Kalkverputz und Zementarbeiten. Frischer Zement wird durch Fluatieren zum Bestreichen mit Ölfarbe geeignet gemacht.

Außer dem Magnesiafluat gibt es auch noch Doppelfluat, Zinkfluat, Magnesiumfluat u. s. w. Jeder dieser Stoffe hat besondere Eigenschaften, die ihm für die eine oder andere Spezialverwendung den Vorzug geben. Die Fluate haben zuerst in Frankreich und der Schweiz, dann aber auch in Deutschland, Österreich und Italien ausgedehnte Verwendung gefunden.

Schellack- und Leinölfirnisanstriche sind als Schutzmittel der Baumaterialien gegen Rauch und Steinkohlenruß mehrfach angewendet worden, haben sich aber bis jetzt als nutzlos erwiesen. Besser ist die Erzeugung von in Wasser unlöslichen Verbindungen innerhalb der Oberflächenporen des Materials, wie Keßlers Fluate sie bewirken. Für viele Sandsteine bewährte sich der Anstrich mit Wasserglas und Chlorbaryum resp. Chlorcalcium, jedoch nur bei solchen mit thonigem Bindemittel. Für andere, mit kalkigem Bindemittel oder für Kalksteine selbst sind die Keßlerschen Fluate bis jetzt unübertroffen;

bei sonstigen Materialien verdient das sogenannte Testalin den Vorzug. Testalin besteht aus zwei wasserklaren Lösungen: 1. aus einer alkoholischen Lösung einer ölsauren Kaliseife und 2. aus einer Lösung von essigsaurer Thonerde. Der Auftrag auf das zu behandelnde Material erfolgt nacheinander mittels eines Pinsels in wagerechter und senkrechter Streichweise. Der chemische Vorgang besteht darin, daß sich durch Wechselzersetzung unlösliche Thonerdeseife und in Wasser sehr leicht lösliches essigsaures Kali bilden.

Die Thonerdeseife verhindert das Eindringen des Regenwassers in den Stein und überzieht die Innenwandungen der Poren, angeblich ohne sie zu schließen, während das unschädliche essigsaure Kali teilweise in den Stein einzieht, teilweise vom Regen weggewaschen wird. Allerdings leidet das Aussehen der Steine etwas durch den Anstrich.

In gewissem Sinne untrennbar von den künstlichen Steinen und von den Oberflächenhärtungsmitteln für künstliche und natürliche Steine sind die wasserdichten Kitte, welche zur Ausfüllung von Fugen und zur Wiederherstellung beschädigter Steinornamente oder anderer Gegenstände Anwendung finden.

Als wasserabstoßende und daher wasserundurchdringliche Kitte kommen in erster Linie die Ölkitte in Betracht. Die Ölkitte werden wesentlich aus einem trocknenden Öl, am besten aus einem Ölfirnis unter Zusatz verschiedener Substanzen: Schlämmkreide, Mennige, Bleiglätte, gebrannter Magnesia, gebrannten Kalkes gebildet. Sie finden vielfache Anwendung, da sie der Einwirkung des Wassers sehr vollkommen widerstehen. Das Erhärten der Ölkitte wird bewirkt durch eine vor sich gehende Verseifung der Fette und durch die Bildung von fettsauren Salzen des Bleis, Zinks oder der sonst zugefügten Materialien. Man hat aber bei Verwendung der Ölkitte wohl im Auge zu behalten, daß diese Kitte immer erst ein gewisses Alter erlangt haben müssen, bevor sie eine genügende Festigkeit erreichen; nicht zu übersehen ist auch der Umstand, daß sie wegen des zu ihrer Herstellung unentbehrlichen trocknenden Öles oder Firnisses im Preise ziemlich hoch zu stehen kommen.

Die Harzkitte stehen den Ölkitten sehr nahe. Sie werden entweder im geschmolzenen Zustande, oder in irgend einem flüchtigen Lösungsmittel oder einem Firnis gelöst auf die zu kittenden Flächen aufgetragen; sie leisten überall da gute Dienste, wo es auf wasserdichten Verschluß und auf ein schnelles Erhärten des Kittes ankommt. Zunächst ist hierbei zu berücksichtigen, daß manche Harze eine geringe Härte und einen gewissen Grad von Elastizität besitzen, andere zeigen eine große Härte und Sprödigkeit sowie hohen Schmelzpunkt. In der Eigenschaft der Sprödigkeit liegt aber ein erheblicher Nachteil für die Anwendung der Harzkitte, da sie leicht abspringen und deshalb zur Verwendung bei Gegenständen, welche oftmaligen Erschütterungen ausgesetzt sind, sich nicht eignen. Um die Sprödigkeit der Harze zu vermindern, pflegt man ihnen bei Herstellung der Harzkitte ätherische Öle zuzusetzen, oder man vermischt die Harzkitte mit Ölkitten oder mit einem fetten, trocknenden Öle. Wenn auch die Harzkitte eine große Widerstandsfähigkeit gegen Wasser besitzen, so haben sie doch den weiteren Nachteil, daß sie keine höhere Wärme zu ertragen vermögen.

Kautschuk und Guttapercha sind vorzügliche Materialien zur Darstellung von Kitten, hauptsächlich ihrer Indifferenz gegen chemische Agentien und ihrer Undurchdringlichkeit für Flüssigkeiten wegen.

Neben diesen drei Hauptgruppen von Kitten, welche bei der Frage der Wasserdichtigkeit zunächst in Betracht kommen, gibt es noch eine lange Reihe von Kitten, welche in diesem Sinne wirklich Vorzügliches leisten, deren Bestandteile aber so verschiedene sind, daß sie sich nicht in eine Gruppe vereinigen lassen.

Nachstehend wollen wir einzelne jener Kitte, welche wegen ihrer Wasserdichtigkeit sich in der Praxis bewährt haben, anführen.

Ein wasserdichter Leinölkitt, welcher allen berechtigten Anforderungen entspricht, wird in der Weise hergestellt, daß man 8 Teile Leinöl mit 12 Teilen Bleiglätte eine halbe Stunde kocht und dann 88 Teile gelöschten Kalk in die heiße Masse einrührt. Die Masse wird heiß angewendet. Dieselbe bewährt sich ganz vorzüglich zum Verstreichen der Fugen zwischen den Steinen auf flachen Dächern, Wasserbehältern u. s. w. Damit der Kitt gut haftet, bestreicht man die zu kittenden Flächen mit Leinölfirnis. Hat man poröse Steine, so kann man

dieselben durch diesen Kitt in der Weise wasserdicht machen, daß man den Kitt in einem Kessel erhitzt und so viel Leinöl zusetzt, daß eine mit dem Reibbrett leicht streichbare Masse entsteht, welche möglichst heiß aufgetragen und glatt gerieben wird. Wir haben es also hier mit der Bildung einer in vorzüglicher Weise wasserabstoßenden Seife zu thun.

Ein Harzkitt für Holz, bestimmt zum Kitten von Holz, welches der Nässe ausgesetzt wird und darum nicht geleimt werden darf, wird aus 100 Teilen Schellack und 45 Teilen starkem Weingeist bereitet. Man bestreicht die Fläche des einen Stückes mit dem Kitt, legt sogleich ein Stück Seidenpapier darauf und preßt das andere Holzstück, nachdem es ebenfalls bestrichen wurde, darauf.

Für Wasserleitungsröhren eignet sich sehr gut ein Kitt aus 10 Teilen Kolophonium, 10 Teilen Baumwolle, 10 Teilen gebranntem Kalk und 3 Teilen Leinölfirnis. Die Baumwolle wird fein zerzupft, allmählich in die geschmolzene Masse eingetragen und tüchtig mit derselben verrührt.

Der sogenannte See- oder Marineleim haftet auf fast allen Körpern mit gleicher Stärke und kann ebensogut zum Kitten von Metall, Holz, Glas, Stein, Pappe und Papier an gleichem Materiale, als auf einem fremden verwendet werden und ist vollständig wasserdicht. Zur Darstellung des harten Marineleimes benutzt man 10 Teile Kautschuk, 120 Teile rektifiziertes Petroleum und 20 Teile Asphalt. Man hängt am besten den Kautschuk in einem aus dünner Leinwand gefertigten Beutel in ein mit weiter Spundöffnung versehenes Faß so weit in das Petroleum, daß der Sack zur Hälfte eintaucht, und stellt das Faß an einen warmen Ort; nach 10—14 Tagen ist die Lösung erfolgt. Man schmilzt dann den Asphalt in einem Eisenkessel, läßt die Kautschuklösung in einem dünnen Strahl zufließen und rührt unter schwachem Erhitzen so lange, bis die Masse ganz gleichförmig geworden ist; dann gießt man sie in Blechformen, welche leicht mit Fett bestrichen worden sind. Der Marineleim bildet in diesem Zustande dunkelbraun bis schwarz gefärbte Platten, welche nur schwierig zu zerbrechen sind. Beim Gebrauche muß der Marineleim unter Anwendung besonderer Vorsichtsmaßregeln über dem Wasserbade verflüssigt werden. Wenn man anstatt des Wasserbades ein solches aus Paraffin anwendet und sich des Thermometers bedient, so kann man das Erhitzen über freiem Feuer ganz umgehen, womit man das Anbrennen verhütet. Wenn möglich, erwärmt man die zu leimenden Flächen gleichfalls auf 100° C. und kann dann den Leim langsam auftragen; je dünner die Schicht bei ebenen Gegenständen ist, desto besser haftet der Leim.

Für sehr viele Zwecke eignet sich ein Kitt aus 5 kg feinst geschlämmter Bleiglätte und 0,5 l Glycerin. Derselbe ist ebensowohl gegen Wasser, wie gegen Säuren, Alkalien, Öle, Chlor und Alkohol unempfindlich und kann für Holz, Metall, Stein, Glas, Porzellan u. s. w. gebraucht werden.

Der Chromleim bietet zum Kitten von Glas und Porzellan ein brauchbares Kittmittel. Man löst die Gelatine oder den Leim in kochendem Wasser, fügt dann die Lösung des doppelt chromsauren Kaliums hinzu, rührt tüchtig um und gießt den Kitt sogleich in Blechbüchsen, in denen man ihn erstarren läßt. Geeignete Verhältnisse sind: 6—10 Teile Gelatine, 90 Teile Wasser, 1—2 Teile doppeltchromsaures Kalium gelöst in 10 Teilen Wasser. Beim Gebrauche wird etwas von dem Kitte geschmolzen, die Bruchfläche des betreffenden Gegenstandes mit der flüssigen Masse gleichmäßig bestrichen, die Stücke aneinander gedrückt und während einiger Stunden der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt. Durch diese Belichtung wird der Chromleim in Wasser unlöslich.

Ein wasserfester Kitt, der sich beispielsweise für feine Thonwaren eignet, wird in folgender Weise gewonnen: 20 Teile Bleiweiß, 12 Teile Pfeifenthon, die man sorgfältig getrocknet hat, rührt man in 10 Teile auf dem Wasserbade erhitzten Leinölfirnisses ein und knetet die Mischung gut durch. Die damit gekitteten Gegenstände werden langsam in der Wärme getrocknet.

Der sogenannte chinesische Kitt für Marmor, Porzellan, Steine und Steingut ist wie folgt zusammengesetzt: Gelöschter Kalk 54 Gewichtsteile, gepulverter Alaun 6 Gewichtsteile, frisches, gut gerührtes Blut 40 Teile. Diese Materialien werden gut verrührt, bis man eine innig gemengte Masse von der Dicke einer mehr oder weniger steifen Salbe erhält. In teigigem Zustande dient diese Masse als Kitt, in flüssiger Form benutzt man sie als Anstrich auf Gegenstände, die man wasserdicht machen will. Pappendeckel, in 2—3 Lagen damit bestrichen, werden hart wie Holz.

Zahlreiche andere Kitte, welche zur Dichtung von Holz, von Gas- und Wasserleitungsröhren, von Apparaten und Gefäßen aller Art und sonst zu den vielfältigsten Zwecken benutzt werden, müssen hier unerwähnt bleiben. Ihre Zusammensetzung ist eine sehr wechselnde, und nur durch richtige Auswahl der einzelnen Bestandteile, welche die Eigenschaft der Wasserundurchdringlichkeit besitzen, ist es möglich, Kitte zu bilden, welche für bestimmte Materialien und bestimmte Zwecke allen Anforderungen genügen.

Künstliche Pflastersteine.

Wie der älteste Kunststein überhaupt der gebrannte Thonziegel ist, so ist auch der erste künstliche Pflasterstein, so weit unsere Kenntnis reicht, aus Thon gebrannt worden. Zählt doch die Keramik zu den Gewerben, die bis ins graue Altertum zurückreichen. Bei den Ausgrabungen Jahrtausende alter Baudenkmäler sind schon aus Thon hergestellte Pflastersteine gefunden worden, die noch gut erhalten waren. Dennoch hat sich der keramische Stein als Pflastermaterial nur in einzelnen Ländern Eingang verschaffen können. Vielfach hat der Versuch, keramische Pflastersteine zu erzeugen, infolge des Vorurteils aufgegeben werden müssen, welches gegen die Verwendung dieses Materials zur Straßenpflasterung vorherrschte und zum Teil noch heute herrscht. Nur in Amerika hat heute schon die Verwendung gebrannter Pflastersteine größeren Umfang angenommen, weil man dort bereits dazu gelangt ist, sie aus besonders geeignetem Rohmaterial in geeigneter Form herzustellen. Man erkannte, daß Ziegelpflaster auf guter Bettung verlegt, die guten Eigenschaften des Asphaltes: Sauberkeit, Geräuschlosigkeit, Wasserundurchlässigkeit besitzt, ohne dessen Nachteile, wie Schwierigkeit des Aufbrechens und Wiederherstellens bei Vornahme von Reparaturen an unterirdischen Leitungen, zu große Glätte im Winter und bei Regen sowie Ausdünstung bei heißem Sonnenschein. Eine einzige Fabrik, die Canton Brick Co. fabriziert jährlich über 12 Millionen Pflasterziegel und hat bereits Hunderte von Meilen Ziegelpflaster in Chicago, Detroit, Philadelphia, Lexington, Tonawanda, Acron, Alliance, Bellevue, Berea, Cleveland, Cincinnati, Canton, Baltimore, Indianopolis, Washington u. s. w. verlegt. Eine andere Fabrik, die Denny Clay Co. in Seattle, Wash., hat seiner Zeit in einem Rundschreiben 15 Fragen über die Zweckmäßigkeit des Ziegelpflasters an die Bauingenieure verschiedener Städte in allen Teilen der Vereinigten Staaten gerichtet und fast durchweg zu gunsten der Ziegelpflasterung sprechende Antworten darauf erhalten. Diesem Umstande ist um so mehr Bedeutung beizumessen, als das Ziegelpflaster in den meisten der befragten Städte erst versuchsweise eingeführt, oder, da es vor 8—10 Jahren ohne genügende Erfahrung verlegt wurde, noch nicht das heute verbesserte Material dabei verwendet worden ist. Im allgemeinen ist man jedoch der Ansicht, daß sich das Ziegelpflaster — wie ja auch das Asphaltpflaster — für sehr verkehrsreiche und mit schweren Wagen befahrene Geschäftsstraßen weniger als für ruhige Wohnstraßen eigne.

Die gewöhnliche Größe der Steine ist $2^1/_2 \times 4 \times 8^1/_2$" engl. (6,4 × 10,2 × 21,6 cm) bei einem Gewicht von ungefähr 7 lbs, oder $2 \times 4 \times 8^1/_2$" engl. (5,1 × 10,2 × 21,6 cm) auch $2^1/_2 \times 3^1/_2 \times 9$" engl. (6,4 × 8,9 × 22,9 cm). Größere Steine, wie: $4 \times 5 \times 12$" engl. (10,2 × 12,7 × 30,5 cm) oder $5^1/_2 \times 6 \times 10$" engl. (14,0 × 15,2 × 25,4 cm) werden nur selten verwendet. Scharfkantige Steine und solche mit abgefasten Kanten werden nebeneinander gebraucht; doch gibt man den ersteren im allgemeinen den Vorzug. Da man die Steine hochkantig stellt, so findet der Pferdehuf durch die zahlreichen, dicht bei einander liegenden Fugen auch bei Frostglätte festen Halt. Anfangs legte man die Steine auf eine Sandschicht und füllte die Fugen mit Teer aus. Doch hat sich dies nicht bewährt. Neuerdings wird deshalb zumeist ein Untergrund von hydraulischem Zementkonkret angewendet, der allgemein für den besten gehalten wird. Zuweilen legt man auf den geebneten Straßenboden eine Flachschicht von Ziegelsteinen, wozu man die nicht völlig gesinterten Klinker verwendet, und stellt auf diese die eigentlichen Pflasterklinker hochkant auf, so daß die Längsfugen des Pflasters quer zur Fahrtrichtung zu liegen kommen. Bei Straßenkreuzungen ordnet man die Schichten diagonal an. In Acron, Ohio, hat man vielfach Schlacke zur Bettung verwendet; doch haben sich die Gas- und Wasserwerke beklagt, daß die Schlacke durch ihren Schwefelgehalt nachteilig auf die Eisenröhren einwirke. Auch eine Unterlage von Sandstein mit einer Schicht härteren Materials, vielleicht Kalkstein, fest gewalzt und gestampft, wird vorgeschlagen, doch liegen darüber noch keine Erfahrungen vor. Vor allen Dingen muß das Pflaster wasserdicht gemacht werden, indem man die Fugen mit Asphalt, Teer oder Zement ausfüllt. Eine einfache Sandfüllung hat sich nicht bewährt. Bei Straßen mit starken Steigungen, wie sie z. B. am

Ohio bis zu 1 : 10 vorkommen, verwendet man, um dem Pferdehuf einen besseren Halt zu geben, Steine, die an der einen Langseite eine Aussparung haben. Doch nicht nur für den Fahrdamm, sondern auch für die Seitenwege hat das Ziegelpflaster in Amerika weite Verbreitung gefunden. Es gelten hierfür dieselben Grundsätze wie für Straßenpflaster, doch legt man gemäß der geringeren Belastung die Ziegel nur als Flachschicht, die Fugen normal oder diagonal zur Straßenrichtung.

Die Preise für das Pflaster schwanken einschließlich der Erd- und Betonierungsarbeiten zwischen 2,12 und 2,37 Dollar per Quadratyard (d. i. 10,6—11,4 Mark per Quadratmeter).

Nächst Amerika hat das Ziegelpflaster in Holland die weiteste Verbreitung gefunden. In Ungarn ist in neuerer Zeit „Keramit", gleichfalls gebrannter Thonstein, zur Straßenpflasterung erfolgreich angewendet worden. In Deutschland hat Ziegelpflaster eigentlich nur in Schleswig-Holstein und in Oldenburg in nennenswertem Umfange Anwendung gefunden. Dafür hat man in Deutschland versucht, in anderer Weise Ersatz für die teuren Pflastersteine vulkanischen Ursprunges zu finden.

Die Neuzeit stellt hohe Anforderungen an Geräuschlosigkeit und Sauberkeit des Straßenpflasters. Das aus zerschlagenen Findlingen, den erratischen Blöcken der Eiszeit, hergestellte Kopfsteinpflaster, mit welchem früher in der norddeutschen Tiefebene die meisten Städte, auch Berlin, fast durchweg gepflastert wurden, genügt heute kaum noch den kleinsten Landstädten. Ein regelmäßiges Würfelpflaster aber, wie es unsere schlesischen, sächsischen und bayrischen Steinbrüche und namentlich die unerschöpflichen Granitbrüche Schwedens liefern, ist kostspielig und nicht überall verwendbar, weil es bei geringerem Straßenverkehr nicht ausreichend ausgenutzt werden kann. Daher erscheint das Streben nach einem billigen Ersatzmaterial erklärlich, von dem besonders in großen Städten neben der Haltbarkeit vorwiegend Geräuschlosigkeit und Sauberkeit gefordert wird. Beide Eigenschaften besitzt sowohl das Asphaltpflaster wie das Holzpflaster in höherem oder geringerem Grade; da wir hier aber nur die künstlichen Steine besprechen, können diese Pflasterarten übergangen werden, und wir wenden uns dem Zement-Betonpflaster zu. Zement-Betonpflaster ist in Deutschland für Straßenbahnen bisher noch wenig in Anwendung gekommen, während in den Großstädten Amerikas derartige Pflasterungen für Bürgersteige und Fahrbahnen in sehr großer Masse und mit bedeutendem Erfolge Verwendung gefunden haben. Mit der Herstellung der Zement-Bürgersteige beschäftigen sich in den amerikanischen großen Städten eine ganze Reihe von Unternehmern (Contractors), die zumeist deutschen Portland-Zement verarbeiten und es darin zu großer Fertigkeit gebracht haben. Ein solcher Bürgersteig wird in kürzester Zeit tadellos fertiggestellt und erhält sich auf viele Jahre unverändert, was in Anbetracht des zuweilen sehr schroffen Temperaturwechsels besonders anerkannt werden muß.

Wo keine Keller unter dem Bürgersteig liegen, wird der Beton einfach mit Sand festgestampft. Man mischt zuerst 1 Teil Zement mit 2 Teilen feinem Sand trocken, näßt dann den Steinschlag an und setzt so viel zu, daß noch genügender Überschuß an weichem Mörtel bleibt. Das Verhältnis Sandmörtel zu Steinschlag stellt sich dann ungefähr auf 1 : 7—8. Als Steinschlag werden kleine Granit- oder Kalksteinsplitter bevorzugt. Als Deckschicht wird eine Mischung aus 1 Teil Zement und 1—2 Teil Sand verwendet und mit Hilfe einer quergelegten Latte der Steig stückweise fertig gemacht. Nachdem die eine Platte erhärtet ist, wird das nächste Stück angesetzt und die Fuge mit Sand oder Asphalt ausgefüllt. Auf diese Weise werden die Platten niemals rissig. Ein solcher Bürgersteig kostet in Chicago für 1 qm 1,50—1,60 Doll., ist also sehr billig, bequem zu begehen und außerordentlich reinlich, da sich niemals Höhlungen ausschleifen. Der Bordstein wird zumeist aus Sandstein oder ebenfalls aus Zementkonkret hergestellt, er leitet in seiner Kehle das Wasser gut ab und hat keine Fuge, in welche das ablaufende Wasser eindringen und in der der Straßenkot sich festsetzen könnte. Erst seit einigen Jahren werden in Deutschland mit einem ähnlichen Pflastermaterial Versuche gemacht, die, soweit sich bis jetzt übersehen läßt, von Erfolg gekrönt sind.

Auf eine 10 cm starke festgestampfte Kiesschicht wird eine 15 cm starke Schicht Kiesbeton im Mischungsverhältnis 1 Portland-Zement und 10 Kies aufgebracht und mit einer 5 cm starken Betonschicht bedeckt, welche aus 1 Teil Portland-Zement, 2 Teilen Granitsteinschlag und $^1/_4$ Teil Kiessand besteht. Die Deckschicht wird sehr sorgfältig eingestampft und schließlich mit einer flüssigen Zementschicht übergossen. Diesem Pflaster hat man den Namen Zement-Macadam gegeben. Es ist in verschiedenen großen Städten Sachsens und Preußens schnell beliebt geworden und wird voraussichtlich bald weitere Verbreitung finden, da es eine sehr ebene Fahrbahn von außerordentlicher Härte und Wasserundurchlässigkeit liefert, ohne glatt und deshalb für Pferde gefährlich zu werden. Der Preis dieses Pflasters stellt sich auf etwa 7,50 Mark für ein Quadratmeter, während Granitwürfelpflaster durchschnittlich mit 13—14 Mark zu veranschlagen ist.

Neben dem Zement-Macadam hat der Portland-Zement noch in anderer Weise zu Pflasterzwecken Verwendung gefunden, welche ihn mit den geschlagenen Pflastersteinen aus Granit in Verbindung bringt.

Otto Pötzsch hat sich unter D. R.-P. Nr. 75953 eine Neuerung an Pflastersteinen patentieren lassen, welche bezweckt, die Unebenheiten auszugleichen, an denen die Verwendung geschlagener Kopfsteine aus Findlingen vielfach scheitert. Der Herstellung gleich hoher und vollkantiger Pflastersteine stellen sich erhebliche technische Schwierigkeiten entgegen, so daß man vielfach zur Verwendung von Steinen mit ungleicher Höhe und unterschlagenen Seitenflächen gezwungen ist, Maßunterschiede, welche beim Pflastern durch das Bettungsmaterial, gewöhnlich Sand, ausgeglichen werden müssen. Die bisher angewendeten Mittel, um den durch die ungleichmäßige Form der Steine bedingten Lagenveränderungen, die eine ungleichmäßige Abnutzung der Steinköpfe und schnellen Verbrauch des Pflasters zur Folge haben, entgegen zu wirken (Fugenverguß mit Asphalt oder Zement), haben sich bisher als ungenügend erwiesen. Dieser Übelstand führte zu dem Verfahren, die Pflastersteine in Mörtel direkt auf Betonunterbau zu versetzen. Eine stabile, ebene Pflasterbahn wird hierdurch zweifellos erreicht, doch sind auch vielerlei Nachteile damit verbunden, die der neupatentierte Pflasterstein vermeidet. Das Verfahren seiner Herstellung besteht darin, daß man den natürlichen Steinen nur einen ebenen und annähernd rechtwinkeligen Kopf anarbeitet, während die regelmäßige Gestaltung der unterschlagenen Seitenflächen und die gleiche Höhe der Steine in Formen durch Ergänzung erzielt wird. Der natürliche Stein kommt sozusagen in einen Schuh aus künstlichem Stein zu stehen, welcher anstatt des Sandbettes die vorhandenen Maßunterschiede ausgleicht, wodurch gleichzeitig eine der Kopffläche entsprechende Fußfläche geschaffen und eine gleiche Druckverteilung erreicht wird. Die so erhaltenen gleichhohen Steine ermöglichen ein regelrechtes dichtes Versetzen unmittelbar auf dem Kies oder Schotterunterbau.

Die Ergänzung der natürlichen Steine geschieht auf einfache Weise dadurch, daß man dieselben von 1 cm zu 1 cm nach der Breite sortiert, Steine gleicher Sortierung mit dem Kopf nach unten zwischen Formbretter oder Bleche einsetzt und die Kunststeinmasse aufbringt. Als solche hat sich Portland-Zementguß (1 Teil langsam bindender Portland-Zement und 1 bis 2 Teile reiner, scharfer Kies von 5 bis 10 mm Korngröße) als sehr geeignet erwiesen. Den Zement rührt man mit reinem Wasser zu einem steifen Brei an und mischt diesen mit dem vorher angenäßten Kies oder scharfen Sand gut durcheinander. Zu den Formen verwendet man am zweckmäßigsten Bretter oder Bleche, die, um das Anhaften des Zementes zu vermeiden, mit einem Anstrich versehen werden müssen. (schnelltrocknender Anstrich aus Pech und Schweröl oder dergleichen). Die zwischen den Längsbrettern lose eingesetzten Querscheidungen werden durch eine an denselben unten angebrachte Leiste durch das Gewicht der Steine in der senkrechten Lage festgehalten. Die Ausführungskosten belaufen sich für diese Pflastersteine auf ca. Mark 2.— pro Quadratmeter, was jedoch wieder dadurch ausgeglichen wird, daß man minderwertige natürliche Steine verwenden kann. Ergänzte Pflastersteine sind etwa $^1/_2$ bis $^1/_3$ billiger als natürliche Steine I. Klasse.

Ein ähnliches Pflaster, welches sich der Steinbrocken zur Festigung der Oberfläche bedient, im übrigen aber aus Füllmasse besteht, ist der sogenannte Steingußgranit-

asphalt von Richter in Straßburg, der folgendermaßen hergestellt wird. Der Naturasphalt wird mit gemahlenem Granit und Steingries unter Zusatz von Bitumen zu einem Brei gekocht und siedend heiß auf die Bodenfläche, welche vorher mit einer Betonschicht versehen ist, aufgegossen. In die heiße Masse werden Steinprismen hineingedrückt und die Zwischenräume derselben mit einem zweiten, mit etwas gröberem Steingries vermengten Brei ausgefüllt. Sind die Prismen vollständig bedeckt, so wird der Beton geebnet. Die Masse soll steinhart sein und nicht brüchig werden.

Ein eigenartiges Kunststeinpflaster wurde von der Firma B. Heß & Co. in Wurlitz bei Oberkotzau zuerst in Probestrecken seit 1891 verwendet. Die nach patentiertem Verfahren aus gemahlenem Serpentinstein als Hauptmaterial in Vermengung mit Bindemitteln unter hohem hydraulischen Druck in Stahlformen gepreßten und in Porzellanöfen gebrannten Steine haben einen grauen, feinkörnigen, wenig porösen Bruch. Die Brennkruste der Steine ist dunkelbraun, das spezifische Gewicht beträgt 2,$_{56}$. Den Steinen, die 18×11×15 und 27×11×15 cm groß hergestellt werden, wird eine besondere Zähigkeit nachgerühmt. Man kann mit der Ecke eines schweren Hammers sowohl in die Außenflächen als in die Bruchflächen Vertiefungen einschlagen, ohne daß Splitter abspringen. Infolgedessen finden die Pferdehufe auf der Oberfläche der Steine sehr festen Halt. Mit diesen Steinen sind Probestrecken in der Rosenstraße zu München, am städtischen Bauhof in Hamburg und eine Strecke in Nürnberg ausgeführt. Auf diesen Strecken sollen sich die Steine besser als Granit bewährt und namentlich wenig abgenutzt haben. Das entspricht den Versuchsergebnissen, welche in der Berliner Versuchsanstalt an den Steinen gefunden wurden. Die Steine hatten eine Druckfestigkeit von 2756 kg/qcm im lufttrockenen Zustande, 2080 kg/qcm im wassersatten Zustande und 1788 kg/qcm, nachdem sie an der Luft ausgefroren waren. Die Wasseraufnahme betrug nur 1,$_8$ %, die Abnutzbarkeit 9,$_7$ ccm. Ein Vorteil dieser Steine, den sie mit dem Wiener Granitpflaster teilen, ist die Gleichmäßigkeit ihrer Form, die ein mehrmaliges Umlegen gestattet.

Auf dem Wege des Gießverfahrens werden Pflasterkörper vorwiegend aus frisch abgestochener Hochofenschlacke hergestellt, wozu man sich verschiedener Verfahren bedient, bei denen sämtlich die langsame Abkühlung Hauptbedingung für eine gewisse Zähigkeit und Haltbarkeit der Steine ist. In Königshütte i. Schl. läuft die Schlacke aus dem Hochofen in ein halbrundes Bassin, welches auf Rädern ruht und dessen Boden mit Sand und Koksstaub bis zu 3 cm Dicke bedeckt ist. Mittels eines eisernen Werkzeuges wird die Schlacke so lange mit dem Sand und Koksstaub gemischt, bis keine Gase mehr entweichen und die Masse Konsistenz und Zähigkeit genug erhalten hat. Die Schlacke wird dann in Formen gepreßt, und die noch warmen Steine werden in Kühlöfen gebracht, wo sie mit Kohlenstaub bedeckt mehrere Tage bis zur völligen Abkühlung stehen bleiben müssen. Diese Steine sind undurchlässig gegen Feuchtigkeit, aber vielfach unansehnlich und deshalb nicht allzu beliebt.

Mannigfache andere Stoffe sind zum Gießen und Stampfen von Pflastersteinen noch verwendet worden, ohne daß sie sich indessen weitere Absatzgebiete errungen haben. Als Merkwürdigkeit sei nur noch erwähnt, daß ein russischer Ingenieur sogar Pflastersteine aus Stroh hergestellt hat und sich von dieser Erfindung große Vorteile versprach. Er preßte das in die richtige Länge zerschnittene Stroh mit Gasteer oder anderem antiseptischen Material unter starkem hydraulischen Druck in Blöcke von entsprechender Größe und wollte das so erzeugte Strohpflaster als Ersatz für Holzpflaster angewendet sehen, gegen welches es den Vorzug größerer Elastizität und langsamer Abnutzung haben sollte. Ein ganz ähnlicher Erfindungsgedanke beseelte einen amerikanischen Ingenieur, der das Gras der ausgedehnten Wiesen an den Küsten des Atlantischen Meeres zerschnitt, mit Harz und Teer vermischte und Blöcke von 35×52×15 cm aus dieser Masse formte, die beim Gebrauch mit eisernen Klammern verbunden werden sollten. Auch diesem Pflaster wurde vor allem große Elastizität nachgerühmt, es ist aber nicht bekannt geworden, wo es jemals zur Verwendung gekommen ist.

Die Thonwarenindustrie.

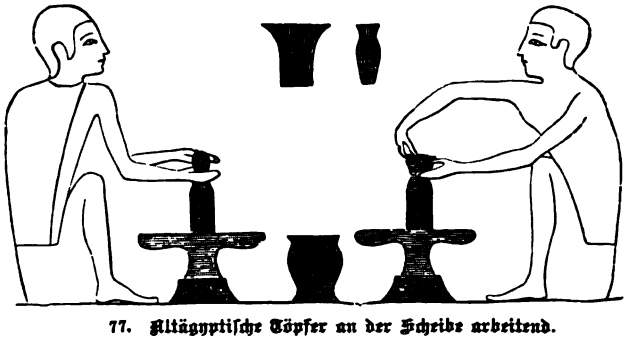
Geschichtliches.

Wie weit die Kunst der Töpferei in das Altertum zurückreicht, darüber vermögen wir nur sehr mangelhaft Aufschluß zu geben; so viel aber steht fest, daß die Thonbildnerei und somit die Herstellung von Thonwaren eine der ersten Gewerbsthätigkeiten der Menschen gewesen ist. Denn die Fähigkeit der Bodenkrume und mehr noch des von den laufenden Gewässern abgesonderten fetten Schlammes, im feuchten Zustande Abdrücke wiederzugeben und sie festzuhalten, ist eine Beobachtung, welche von den jeweiligen Menschen schon in den frühesten Anfängen ihres Erwachens zum Kulturleben gemacht wird, und hieraus ergibt sich die Verwendung geeigneter Erdschichten zur Gefäßbildnerei von selbst, sobald das Bedürfnis, Gerätschaften zur Aufbewahrung oder zur Zubereitung von Nahrungsmitteln zu haben, vorliegt. Dieses Bedürfnis macht sich in der That sehr bald geltend, und so finden wir auch heute selbst bei den auf niedrigster Stufe der Entwickelung stehenden und von der Kultur bis dahin unberührt gebliebenen Volksstämmen schon Gefäße, die trotz der bescheidenen Hilfsmittel, welche zur Herstellung derselben dienten, häufig mit großer Geschicklichkeit gearbeitet sind, so daß wir recht daran thun werden, wenn wir analog dieser Beobachtung auch den Menschen früherer Jahrtausende denselben Entwickelungsgang zuerkennen. Daß die Fähigkeit der Menschen, Thongefäße zu formen, schon weit vor unserer Zeitrechnung bestand, zeigen uns mit Sicherheit aber auch wertvolle Funde, Thonscherben, die, teilweise mit Glasuren bedeckt, vor nicht allzulanger Zeit zum erstenmal tief unter dem Nilschlamm gefunden und zu Tage gefördert wurden. Nach menschlicher Berechnung und unter Berücksichtigung der Dicke der Schlammschicht und der Menge des Niederschlages, welcher sich alljährlich absetzen kann, müssen diese Erzeugnisse vor mehr als 13000 Jahren geformt und gebrannt sein.

Wir werden nicht fehl gehen in der Annahme, daß man sich anfangs nur mit dem Trocknen der Thongefäße begnügte und daß man das Brennen derselben zur Erzielung einer größeren Widerstandsfähigkeit erst später lernte. Welcher Art die ältesten Glasuren gewesen sind, ob sie nur in einem Überzuge von Harz bestanden, oder etwa durch den Polierstahl hervorgebracht sind — darüber liegen nur Vermutungen vor. Da die Thonwaren beim Brennen aber mit der Flamme und infolgedessen mit durch den Zug fortgerissenen Holzascheteilchen in unmittelbare Berührung kommen, und die in der Asche der Holzarten besonders reichlich enthaltenen Verbindungen der Alkalien, wenn sie mit den thönernen Geschirren bei hohen Temperaturen in Wechselwirkung treten, zur Verglasung der Oberfläche der Geschirre unmittelbar Anlaß geben, so war damit auch der Weg für die durch Aufbrennen erzeugten Glasuren beschritten. Aus geschichtlichen Überlieferungen wissen wir, daß die alten Ägypter mit Bestimmtheit kunstvoll glasierte Steine und Gefäße herstellten und aus den Abbildungen auf ägyptischen Basreliefs können wir

uns heute noch durch den Augenschein vergewissern, daß sie, ganz wie es unsere Altvorderen gethan haben und wie es auch jetzt noch in Kleinbetrieben bisweilen geschieht, den rohen Thon mit Füßen geknetet haben, damit er sich ausgleiche, überall vom zugesetzten Wasser gleichmäßig durchdrungen und plastischer werde. Ja die auf diesen Abbildungen dargestellten Geräte lassen sogar erkennen, daß sie die Erzeugnisse teils aus freier Hand, teils auf der Töpferscheibe fertigten (vgl. Abb. 77) und daß man damals dieselben Handgriffe wie heute angewendet hat. Andere Abbildungen zeigen uns das Brennen, die Gestalt der Öfen, das Einsetzen der Geschirre in dieselben, das Entleeren, ja sogar die rote Farbe der alten ägyptischen Thongeschirre; in den Grabkammern der Pyramiden sind uns zahlreiche kleine Mumienbilder mit sauber eingepreßten Inschriften und von einer blaugrünlichen Glasur überzogen, aus jener Zeit erhalten.

Daß die Israeliten die Kunsttöpferei ebenfalls schon in den frühesten Zeiten verstanden, beweisen uns zahlreiche Stellen des Alten Testamentes. So sagt Jesus Strach: „Also ein Töpfer, der muß bei seiner Arbeit sein und die Scheiben mit seinen Füßen umtreiben. Er muß mit seinen Armen aus dem Thon sein Gefäß formieren und muß sich zu seinen Füßen müde bücken; er muß denken, wie er fein glasiere, und früh und spät den Ofen fegen.“ Auch die Assyrer fertigten schon mit verschiedenen Farben ausgelegte Mosaikziegel an, und aus den Gräbern von Babylon und Ninive sind kunstgerecht gearbeitete Hohlgefäße und Schüsseln, aus Thon geformt und gebrannt, ans Tageslicht gefördert worden, die sowohl für die Zwecke des Kultus, wie des täglichen Gebrauches bestimmt gewesen sein müssen.



77. Altägyptische Töpfer an der Scheibe arbeitend.

Höchstwahrscheinlich ist es, daß die Griechen durch die Ägypter mit der Vervollkommnung der Töpferkunst bekannt gemacht worden sind, denn schon zu Homers Zeiten gab es auf der Insel Samos Töpfereien von großem Rufe, die der Anlaß waren, daß der Sänger die Thätigkeit des Töpfers in einem Gedicht verherrlichte, welches die Meinung hervorrufen könnte, als sei es durch den Besuch einer großen Fabrikanlage der Neuzeit veranlaßt worden — so übereinstimmend sind die darin geschilderten Verfahren mit denen unserer Tage. Ja, von griechischen Töpfern wissen wir sogar noch Namen zu nennen, so den des Dibutades, welcher von Sikyon Gefäße in Mengen nach Korinth schaffen ließ, ferner Koröbos, welcher um 1500 v. Chr. in Athen lebte. Ebenso sind uns Talos, der Sohn der Perdix und Neffe des Dädalos, und Therikles von Korinth, nach welchem eine Sorte von Vasen den Namen erhielt, als Töpfer bekannt. Übrigens griffen noch andere Kunstzweige in Griechenland anregend und befruchtend in das Töpfergewerbe ein, ja es erschien einem Phidias, Polyklet, Myron u. a. nicht zu gering, Zeichnungen für die Werke der Töpfer zu entwerfen, und der Genialität jener Künstler ist es zu danken, daß die griechische Töpferei Erzeugnisse von so hoher Vollendung in Form und Ausführung zu Wege zu bringen vermochte, daß uns dieselben noch heute mit Staunen und Bewunderung erfüllen.

Wie alle Bildung und Kunstthätigkeit, so nahm auch die schon hoch veredelte Gefäßkunst ihren Weg von Griechenland nach dem südlichen Teil Italiens, um von hier aus in den Lebensorganismus des römischen Reiches überzugehen. Gewiß hat in den dortigen Landschaften, so namentlich in Etrurien, woher wir noch vor der Zeit des sich ausbreitenden griechischen Einflusses Arbeiten in unseren Museen und Sammlungen finden, lange vorher schon eine eigentümliche Kultur bestanden, auf die Ausbildung der fruchtbaren Zweige aber wurde der von Griechenland ausgehende, sonnig belebende Hauch von

der wesentlichsten Förderung und die charakteristischen Formen etrurischer Bildnerei erlangten durch den Einfluß griechischer Muster eine wunderbare Verschönerung.

Durch den Kultus der Alten, die Körper nach dem Tode zu verbrennen und die Asche in Urnen in den Grabstätten aufzubewahren, ist uns ein großes Material für die Beurteilung des damaligen Geschmacks und der technischen Fähigkeiten, demselben gerecht zu werden, überliefert und durch ausgedehnte Ausgrabungen zugänglich gemacht worden. Betrachten wir die in Museen und Sammlungen vereinigten Gefäße, Urnen, Lampen, Aschen-, Henkelkrüge, Vasen u. s. w., so müssen wir über den Reichtum der Formen und ihre unübertreffliche Schönheit nicht minder als darüber erstaunen, daß alle Erzeugnisse der Kunstgewerbe damaliger Zeit von einer Reinheit, von einer Naivität und doch von einer Harmonie in allen Zweigen der Geschmacksrichtung Zeugnis ablegen, welcher sich wieder zu nähern und die neu zu beleben und umzubilden von unseren Künstlern und Gewerbetreibenden immer noch als ihre vornehmste Aufgabe betrachtet wird; und neuerdings geschieht dies in unseren besten Arbeitsstätten auch wohl mit Erfolg. Wir geben in Abb. 78 u. 79 die Darstellung eines der berühmtesten Werke etrurischer Töpferkunst, die nach dem Gegenstande ihrer Malerei benannte Vase des Arkesilaos, und zwar zeigt uns Abb. 78 die innere Malerei, Abb. 79 die äußere Form und Zeichnung. Das Kunstwerk hat eine Höhe von etwa 28 cm, einen Durchmesser von gegen 30 cm und befindet sich in der Nationalbibliothek in Paris. Eine der bedeutendsten Sammlungen von Vasen assyrischer, ägyptischer, griechischer, etrurischer und römischer Herkunft befindet sich in München.

78 u. 79. Die Vase des Arkesilaos.
Werk eines kyrenischen Töpfers (500 v. Chr.).
78. Innenansicht. — 79. Äußere Ansicht.

In Rom standen zu Plinius' Zeiten besonders die Irdenwaren aus Tralles in Lydien, Erythrä in Jonien, Adria in Oberitalien, Rhegium und Cumä in Unteritalien in hohem Ansehen. Die Henkelkrüge von Kos waren so geschätzt, daß sie die Patrizier an ihre Klienten verteilten, wenn sie bei besonderen Gelegenheiten deren Gunst sich sichern wollten. Das Material, aus welchem alle diese Gefäße hergestellt waren, bestand aus einem farbigen, roten oder rotbraunen Thone und die Malerei meist nur aus einer schwarzen Zeichnung auf der natürlichen Farbe des Grundes. Als die ältesten der griechischen Thongefäße sieht man die aus gelblichgrauem oder bräunlichgelbem Thone mit schwarzen oder braunen Zeichnungen an, dann folgen der Zeit nach die mit schwarzen Figuren auf rotem Grunde, endlich die mit roter Zeichnung auf schwarzem Grunde. Wenn

mehrere Gefäße dieſelbe Malerei erhalten ſollten, ſo erleichterte man ſich die Arbeit, indem man die Zeichnung aus dem Papier herausſchnitt, dieſe Schablone um das Thongeſchirr legte und dasſelbe in den flüſſigen Farbſtoff tauchte, gerade ſo, wie wir es heute auch noch machen. An allen ausgeſchnittenen Stellen des Papiers konnte das Gefäß infolge ſeiner Poroſität in Waſſer ſuſpendierte farbige Maſſen oder ſonſtige Farbſtoffe aufſaugen, während die übrigen Partien davon frei blieben. Später wurden erhaben aufliegende Ornamente auch vergoldet.

Die Römer betrieben die Töpferei in ausgedehnter Weiſe und in künſtleriſcher Vollendung auch in den von ihnen angelegten Kolonien, wie die in der Neuzeit aufgegrabenen Töpferwerkſtätten beweiſen; ſo zu Rheinzabern, wo man bis zum Jahre 1858 bereits 70 altrömiſche Töpferöfen und 36 Ziegelöfen bloßgelegt hatte. Die römiſchen Geſchirre zeichnen ſich durch ihre ſchöne korallenrote Maſſe aus, die ſogenannte terra sigillata, Siegelerde, die man, wie es ſcheint, beliebig zu erzeugen verſtand. Verziert

80. Glaſieren der Thonwaren.

wurden dieſe Geſchirre häufig durch erhabene Ornamente, welche mit Stempeln gepreßt wurde. Auch in Bezug auf den Backſteinbau wiſſen wir aus alten Schriftſtellern (Vitruv, Plinius, Pauſanias und Strabo), daß derſelbe bei den Römern in hoher Blüte ſtand, und es ſcheint ſo, als wäre derſelbe eine Zwiſchenſtufe geweſen zwiſchen den älteſten Holzbauten und den Marmorbauten, die nach dem Vorbilde der Hellenen von ihnen errichtet wurden.

Aber auch die alten ſlawiſchen Gräber Deutſchlands, Polens und Rußlands enthalten irdene Gefäße in großer Zahl und eigentümlichen Formen, woraus hervorgeht, daß die Töpferkunſt auch bei dieſen Völkern einen durchaus ſelbſtändigen Entwickelungsgang genommen hat.

Eine gewaltſame und vernichtende Unterbrechung erfuhr die geſamte europäiſche Kultur durch die Stürme der Völkerwanderung, und es dauerte lange, ehe man wieder von einer Töpferkunſt reden konnte, die über den Rahmen des Alltäglichen hinaus ſchuf. Erſt die Araber riefen die verloren gegangene Kunſt wieder ins Leben und befruchteten wieder die abendländiſche Technik und Erfindung durch ihre eigentümlichen, phantaſievollen Schöpfungen, ſowie durch Einführung neuer Verfahren. In der Verzierung

ihrer Waffen, namentlich in der Emaillierkunst erfahren, brachten sie diese letztere auch bei dem Ausschmücken der Töpferwaren in Anwendung und schufen in Spanien und auf der Insel Majorca um die Mitte des 12. Jahrhunderts schön glasierte und mit Gold dekorierte Ziergeräte, Vasen, Ziegel und Fliesen für Wandbekleidungen. Obwohl sie diese Technik schon vor dieser Zeit ausgeübt hatten, erhielten die auf diese Weise hergestellten Erzeugnisse nach der Insel „Majorca" den Namen „Majolika". Neben ihnen haben auch die byzantinischen Griechen, die vielfach nach Unteritalien auswanderten, viel zum Aufblühen der mittelalterlichen Kunsttöpferei beigetragen. Allmählich verbreitete sich die Kunst, verzierte und mit Glasuren reich geschmückte Gefäße und Wandbekleidungen herzustellen, immer weiter, und wir wissen, daß schon im 14. Jahrhundert unter der Herrschaft der Malatesta in Pesaro im Herzogtum Urbino künstlerisch geformte und mit Glasuren reich verzierte Geschirre erzeugt wurden.

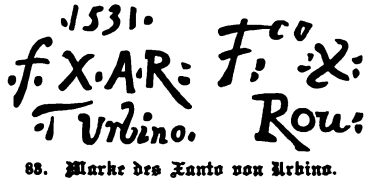
81. Terrakotte von Luca della Robbia.

Anfänglich wurde ein Thon verarbeitet, welcher sich rotbraun brannte; um demselben eine helle Oberfläche zu geben, überzog man ihn mit einer dünnen Schicht weißer Erde von Siena — womit das Engobieren oder Übergießen (Angußverfahren) eingeführt war — und brannte ihn. Dann wurde die Malerei aufgebracht und das Ganze glasiert und zum zweitenmal gebrannt. Diese alten, aus zweierlei Erde bestehenden Geschirre heißen Halbmajoliken, Mezzamajolika; sie zeigen in ihrer Dekoration noch deutlich den maurischen Einfluß; ihre Färbung umfaßt nur Gelb, Blau, Grün und Schwarz, und der künstlerische Wert dieser zur Dekoration bestimmten Gegenstände ist kein sehr hoher. Allmählich aber lernte man, weiße Thone allein verarbeiten, und die feine Majolika besteht dann durchweg aus einer weißen oder gelblich-weißen Masse und hat Zinn- oder vielmehr Zinn-Bleiglasur. Halb gebrannt wurden die Gefäße mit Emailschlicker überzogen, trocknen gelassen, dann bemalt und schließlich häufig noch mit einer dünnen Bleiglasur versehen; dadurch, daß die Glasur mit der Malerei zusammenschmolz, erhielt die letztere eine große Lebhaftigkeit. Der Metallüster, welchen viele der besseren Majoliken zeigen, erforderte wahrscheinlich ein drittes Brennen. Da die Bemalung auf die nur getrocknete Emailmasse aufgebracht wurde, welche die Farbe sofort einsaugt, und nachträgliche Verbesserungen, wie sie bei der Porzellanmalerei möglich sind, bei welcher auf die schon gebrannte Glasur die Farben aufgetragen werden, sich hier nicht vornehmen ließen, so erforderte das Auftragen von Farbe auf Majoliken sehr geschickte Zeichner, welche mit sicherer Hand, keck und leicht, das Gemälde in einem Wurf auszuführen vermochten. In diesem Umstande beruht der eigentümliche Reiz und der künstlerische Wert,

den gute Majoliken haben, obgleich ihre Farbenskala häufig nur einen geringen Umfang besitzt.

In dem übrigen Europa stand damals die Kunsttöpferei auf einer sehr tiefen Stufe. Für Deutschland wurde zwar in dem vielfach beschriebenen Grabmal des Herzogs Heinrich IV. von Schlesien, das seinem ganzen Stile nach um 1290 errichtet worden sein muß, ein Zeugnis erhalten, das uns auf das Gegenteil hinweisen könnte; allein mit demselben verhält es sich sehr sonderbar. Es zeigt die Gestalt des Herzogs in liegender Figur lebensgroß auf einem Sarkophage, dessen äußere Wand von 21 Figuren in Bogennischen eingenommen wird. In den Zwickeln sind geflügelte Engelsköpfe angebracht. Das Ganze ist in Terrakotta ausgeführt; es ist immer behauptet worden, daß es mit schöner Glasur in lebhaften Farben versehen sei, und dies würde allerdings beweisen, daß in Deutschland die bunten Glasuren weit eher in Gebrauch waren als in Italien, wo Luca della Robbia anerkanntermaßen erst um 1420 das undurchsichtige namentlich zum Bemalen geeignete Zinnemail erfand, wenn die Sache nämlich sich in der That so verhielte, wie es gewöhnlich angenommen wird, d. h. wenn der glänzende buntfarbige Überzug eine wirkliche Zinnglasur wäre. Das ist aber nicht der Fall, das Denkmal ist vielmehr mit buntem Ölfarbenanstrich versehen, und damit fällt seine Beweiskraft vollständig.

82. Marke des Giorgio.



83. Marke des Xanto von Urbino.

84. 85. Monogramm des Fabrikzeichen von Nevers. Bernh. Palissy.

86. Delfter Marken.

Zinnglasuren zuerst verwendet zu haben, muß nach unserer Kenntnis dem Florentiner Bildhauer Luca della Robbia (geb. 1400, gest. 1481) zugeschrieben werden, und zwar sollen seine ersten mit dieser Glasur hergestellten Erzeugnisse ungefähr aus dem Jahre 1438 stammen. Die Werke seiner ersten Periode zeigen nur Weiß und Blau; erst später traten dazu Violett, Gelb, Grün und Rot. So sind auch die früheren mit sienischer Malerei verzierten Majoliken vorzugsweise in gelben und blauen Farbentönen ausgeführt; das Rubinrot kam erst später dazu und wurde in Gubbio von Giorgio Andreoli von Pavia erfunden, der seit 1498 in Gubbio ansässig war und die Majolikamalerei auf die höchste Stufe hob. Von ihm gemalte Geschirre werden jetzt mit enormen Preisen bezahlt und sind an dem Monogramm kenntlich, wie es alle Künstler der damaligen Zeit jedem ihrer Werke einzugraben oder aufzumalen pflegten. Abb. 82 zeigt die Marke von Giorgio, Abb. 83 die des Xanto von Urbino, eines ebenfalls berühmten Meisters, dessen Kunst in den Jahren um 1530—35 blühte. Die erstere läßt außer der Jahreszahl der Verfertigung die Anfangsbuchstaben M(aestro) G(iorgio), die zweite F(rancesco) X(anto) A(vello) R(ovigo) erkennen.

Das Zeitalter der Majolika kann in folgende vier Abschnitte zerlegt werden:

Der erste reicht bis 1530 (Zeitalter der Mezzamajolika). Die ersten Erzeugnisse zeigen neben maurischen Verzierungen italienische mythologische Figuren als Büsten mit Erläuterungen; die Umrisse der Figuren sind blau mit schwarzem oder weißem Grunde, die Fleischpartien sind nicht gefärbt und die Zeichnung, obschon korrekt, ist hart und das Aussehen der Figuren leblos. Über dem Ganzen liegt ein irisierender metallischer Glanz von großer Schönheit und Eigenart.

Der zweite Abschnitt geht bis 1540. Die Verzierungen und Büsten werden durch Gruppen von ganzen Figuren ersetzt, deren drapierte Gewänder ausgemalt sind. Die Farben werden reicher und lebhafter.

Der dritte Abschnitt wird von 1540—1560 gerechnet, er bildet den Glanzpunkt der Majolikafabrikation und ist durch die Arbeiten von Bernhard Palissy charakterisiert.

Der vierte Abschnitt wird gewöhnlich bis 1610 gerechnet; nach dieser Zeit verfällt die Kunst, und man rechnet die späteren Majoliken, welche noch in Venedig, Neapel, Savona, Siena u. a. O. bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts gefertigt, ja noch bis in unsere Tage hinein hergestellt werden, nicht mehr zu den echten Majoliken. Der Verfall der Majolikafabrikation wird namentlich durch die Einführung des chinesischen Porzellans veranlaßt und mehr noch, seitdem dasselbe ein europäisches Erzeugnis geworden ist.

Die farbenschönsten Majoliken mit Purpurlüster sind aus den Werkstätten von Gubbio und Pesaro hervorgegangen, und es scheint, als ob der schon vorgenannte, durch die Erfindung des Rubinrots bekannte Andreoli hier auch die Erzeugnisse anderer Orte nachträglich noch auf Bestellung mit jenem irisierenden Metallschimmer überzogen habe. Vergoldung kam erst 1569 durch Lanfranco in Anwendung, zu einer Zeit, in der die höchste Blüte der Majolikatechnik bereits vorüber war. In Urbino, wo man nicht so brillante Farben hervorzubringen vermochte, wandte man um so größere Aufmerksamkeit der Vervollkommnung der Zeichnung zu. Herzog Guidobald verschaffte seinen Majolikamalern Raffaelsche Kartons zu Vorlagen; auf diesen Umstand ist wohl auch der Ursprung des Namens Raffaelgeschirre zurückzuführen, mit dem man gewisse Majoliken bezeichnet, deren Bemalung man früher mancherseits dem großen Urbinaten selbst zuschrieb. In Urbino waren unter anderen besonders berühmt Battista Franzo von Venedig (1540—60) und Orazio Fontana. Von hier wandten sich im Laufe der Jahre und namentlich, als die Majolikamalerei in Urbino in Verfall zu geraten anfing, viele Künstler weg nach anderen Orten, und zu den schon bestehenden Werkstätten erwuchsen so neue Mittelpunkte dieser Technik. Außer Gubbio und Urbino wurde in der guten Zeit diese Kunst mit großem Erfolg namentlich in Castelduranté, Pesaro und Faenza gepflegt. Von letzterem Orte haben die weißgrundigen Geschirre den Namen Fayencen erhalten, die späterhin zur Nachahmung des in Mode gekommenen chinesischen Porzellans überall fabriziert wurden. Mit der Zeit aber wurden die Leistungen selbst der vordem berühmtesten Anstalten in den allgemeinen Verfall mit hineingezogen, so daß manche der sogenannten Bauernmajoliken, Geschirre, welche von den gewöhnlichen Töpfern auf dem Lande gemacht wurden, mehr richtigen Geschmack in der Verzierung zeigen als die Tafelstücke der Reichen. Dann kam die Porzellanperiode auch für Italien, während welcher das Interesse für die übrige Kunsttöpferei fast ganz erstarb. Erst nach und nach erhob sich an den Mustern der Alten wieder der Mut, Ähnliches zu versuchen, und es steckt in jedem Italiener so viel traditionelle Kunstfertigkeit, daß er auch sofort die Mittel wieder findet, das nachzumachen, was der heimische Boden schon einmal hervorbrachte. So werden denn auch heute in den alten Kunststätten Faenza, Gubbio, Bologna, Florenz u. s. w. Majoliken und Fayencen erzeugt, die so Vorzügliches aufweisen in der Imitierung alter Meisterwerke, daß es selbst dem Kenner oft schwer werden dürfte, das Original von der Kopie zu unterscheiden, besonders wenn absichtlich eine Täuschung bezweckt werden sollte. Die Majoliken von Ginori in Doccia bei Florenz haben einen Weltruf erlangt. In eigner Erfindung freilich stehen die heutigen Italiener den alten auch jetzt noch nach.

87. Majolikaplatte von Ginori in Doccia bei Florenz (Wiener Ausstellung von 1873).

In Frankreich wurden vom 16. Jahrhundert an die Fayencen mit großer Vollkommenheit gemacht. Hier aber hatte durch einen genialen Künstler, der wegen seiner Ausdauer und wegen seiner Schicksale unser besonderes Interesse in Anspruch nimmt, die Majolikatechnik eine eigentümlich selbständige Entwickelung gefunden: durch Palissy.

Wie in Rabelais' Roman „Gargantua und Pantagruel", welcher 1535 erschien, zu lesen ist, gab es damals zwar schon große Töpfereien um Beauvais, welche durch ihre Erzeugnisse berühmt waren, denn unter den Trophäen des Panurg werden aufgezählt „ein Saucennapf, eine Salatschüssel und ein Trinkkrug von Beauvais", und es scheinen diese Geräte nicht wertlos gewesen zu sein, da sie für würdig gehalten wurden, auf der Tafel der Vornehmen zu prunken. Die besseren Erzeugnisse jedoch kamen meist aus Italien, und auch späterhin finden wir noch, daß italienische Künstler vielfach herbeigezogen wurden, um die französischen Arbeiter zu unterweisen. Palissy dagegen, der autodidaktische Kunsttöpfer, verdankt die größten Erfolge nur der eigenen Arbeit und dem eigenen Scharfsinn. Ungefähr im Jahre 1510 zu La Chapelle Biron bei Périgord (nach anderen zu Agen) geboren und seiner Profession nach ein Glasmaler, sah er in seinem 30. Jahre eine schön emaillierte Majolika, wie man glaubt, eine Arbeit Hirschvogels aus Nürnberg. Sofort ergriff ihn der Gedanke, etwas Ähnliches zu schaffen. Ohne chemische Kenntnisse fing er an, alle Dinge zu zerstoßen und zu mischen, von denen er glaubte, „daß etwas daraus werden könne". Er zerschlug irdene Töpfe, strich seine Mischungen darauf und versuchte sie in einem notdürftig selbst erbauten Ofen in Fluß zu bringen. Er quälte sich ein paar Jahre allein, dann trug er seine Scherben in eine benachbarte Töpferei, jedoch das Glück begünstigte ihn deswegen nicht mehr. In einer Glashütte, an die er sich nun wendete, fingen endlich, weil die Hitze in den Glasschmelzöfen viel stärker war, einzelne seiner Glasurproben zu fließen an. Bei einem letzten verzweifelten Versuche mit mehr als 300 Proben hatte er die Freude, daß ein Stück sich nach dem Erkalten mit einer weißen Glasur bedeckte, die ihm, wie er sagte, „himmlisch schön" erschien. Ehe er aber zu diesem ersten Erfolge gelangte, waren wenigstens schon zehn Jahre der drückendsten Not und Plage dahingegangen; oft konnte er kaum Brot für die Seinigen schaffen, da alles für Töpfe, Holz und Ingredienzien daraufgegangen war. Dazu verbitterte ihm ein ungeduldiges Weib das Leben, und selbst mit der Erfindung seiner Glasur war die schwere Prüfungszeit noch nicht zu Ende. Da die Kochtöpfe seiner Nachbarn nicht die Gegenstände sein konnten, welche er mit der für ihn so kostbaren Masse hätte überziehen können, so mußte er sein Augenmerk darauf richten, Kunstgeschirre zu erzeugen. Er baute mit eigener Hand wieder einen Brennofen, der ihm freilich zu einem alles verschlingenden Ungeheuer wurde. Und als er den ersten mühsam vorbereiteten Brand mit nach eigenen künstlerischen Zeichnungen angefertigten Geschirren durchgeführt hatte und eine lohnende Frucht jahrelanger Mühen und Entbehrungen erwartete, da zeigten sich seine Hoffnungen durch ein neues, unvorhergesehenes Mißgeschick vereitelt. Der Mörtel seines Ofens war voller Kiesel, die von der ziemlich bedeutenden Hitze zerbarsten, und so waren seine Gefäße, obwohl sonst sehr schön, auf der Oberfläche mit Kieselsplittern dicht besetzt und dadurch gänzlich verdorben. Noch manche Anstrengung und manche Arbeit sah er so

88. Bernhard Palissy.

durch irgend ein Ungemach vergeblich aufgewendet; aber er harrte aus, erweiterte durch bittere Erfahrungen ſeine Kenntniſſe und ſchritt ſtufenweiſe endlich doch einer hohen Meiſterſchaft in ſeiner Kunſt entgegen. Etwa 15 oder 16 Jahre tappte er, wie er ſelbſt ſagt, in der Irre umher; in den ſpäteren Jahren vollendete er aber Werke, die zu großem Rufe gelangten und ihm die Mittel verſchafften, ſich zu nähren und weiter zu bilden. Auf der Höhe ſeiner Kunſt nannte er ſich: Ouvrier de Terre et Inventeur des Rustics des Figulines. Paliſſy vervollkommnete ſich zu einem ausgezeichneten Künſtler der Plaſtik, der in ſeinen Werken durch die Mannigfaltigkeit und Schönheit der Ornamentik überraſcht. Sehr häufig ſind die als Ziergeräte gedachten Platten, Schüſſeln, Aufſätze mit ganz naturaliſtiſchen Nachbildungen aus dem Tier- und Pflanzenreiche verſehen, dabei von merkwürdiger Treue und Sorgfalt der Ausführung. Namentlich ſind es Fiſche, Muſcheln, Pflanzen, Inſekten, Reptilien — alle der Pariſer Umgegend entnommen — die in Farnkräutern, Waſſer-

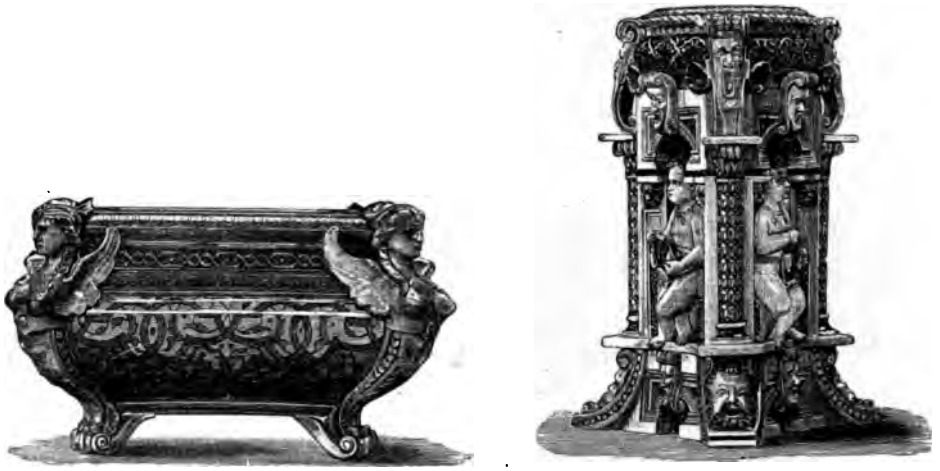
89. Emaillierte Platte von Bernhard Paliſſy.

blumen u. ſ. w. ihr Stillleben treiben. Seine Glaſur iſt von reichem und ſtrahlendem Glanz und von großer Härte; in der Färbung herrſchen in der Regel bräunlichgrüne, blaue und mattgelbe Töne vor, und es fehlt das reine Weiß der erſten Majolika. Die Modellierung iſt meiſterhaft, und der Ruhm Paliſſys ſtieg ſo ſehr, daß er endlich zum Hofkünſtler ernannt und nach Paris berufen wurde. Als aber die Hugenottenverfolgungen ausbrachen, konnte ſelbſt ſeine hohe Gönnerſchaft ihn, den eifrigen Proteſtanten, nur vor dem Tode, nicht aber vor dem Gefängnis ſchützen. Sein Geheimnis mit ins Grab nehmend, ſtarb er in der Baſtille, und mit ihm fiel die von ſeinem unbeſiegbaren Fleiß unter ſo harten Kämpfen und unſagbaren Entbehrungen wieder entdeckte Kunſt der Vergeſſenheit anheim; erſt neuerdings ſind die Paliſſy-Erzeugniſſe wieder in Wien, Frankreich u. a. O. ſtudiert und nachgeahmt worden.

Um dieſelbe Zeit, in der Paliſſy ſeine Verſuche machte, fand auch anderwärts in Frankreich die Kunſttöpferei erfolgreiche Förderung. So iſt es bekannt, daß die kunſtſinnige und prachtliebende Katharina von Medici, eine Tochter des Herzogs von Urbino,

die Kunst ihrer Heimat in Frankreich einzubürgern suchte, daß sie durch ihren Verwandten, den Herzog Louis von Gonzaga, Majolikenarbeiter aus Italien nach Frankreich berief und in Nevers die Fayencefabrikation nach italienischem Muster einrichtete. Die unter dem Herzog von Gonzaga in Nevers hergestellten Gegenstände sind von der echten Majolika kaum zu unterscheiden; die besten Erzeugnisse von Nevers führen als Fabrikzeichen gewöhnlich ein roh gemaltes N(evers) oder die beiden verschlungenen Buchstaben J. S (Jacques Senlis) eines dort im 18. Jahrhundert lebenden Töpfers von Ruf. Auch in Moustier und in Rouen blühten Fayencefabriken auf, deren Erzeugnisse ihrer Ornamentation wegen noch heute bewundert werden.

Aus dem 16. Jahrhundert, jenem der Kunst so günstigen Zeitalter, stammen auch die berühmten und unter dem Namen „Henrideuxware" bekannten „Fayencen von Oiron". Im ganzen sind ihrer nicht mehr als 55 Stück bekannt, und sie werden sowohl ihrer Seltenheit als ihres großen Kunstwertes wegen mit fabelhaften Summen bezahlt. Das Kensington-Museum z. B. kaufte einen Trinkkrug dieser Art aus der Pourtalèsschen Sammlung für 27 500 Frank. Wie neuere Forscher nachgewiesen haben, stammen



90 u. 91. Oirongeschirre, Nachbildungen von Minton (Wiener Weltausstellung von 1873).

diese Gefäße, auf welche erst seit 1836 die Aufmerksamkeit der Kunstkenner wieder gelenkt worden ist, nicht aus Italien, sondern von dem Schlosse Oiron in der Gegend von Thouars in der Touraine; dieses Schloß hatte Arthur Gouffier, Gouverneur Franz' I., seiner Witwe Helene von Hangest hinterlassen, und die kunstliebende Frau verbrachte dort jeden Sommer und unterhielt unter anderem aus Liebhaberei auch eine Kunsttöpferei, für welche François Charpentier als Techniker und der Bibliothekar Jehan Bernart als Zeichner thätig waren. Ihrer bezüglichen Dekoration nach zu schließen, sind die Erzeugnisse dieses Ateliers, welchem bedeutende Künstler mit Rat und That zur Seite gestanden haben müssen, zu Geschenken an französische Große bestimmt gewesen. Die ältesten tragen die Chiffre Franz I., die späteren die Initialen Heinrichs II. und seiner Gemahlin, zwei verschlungene C und H, worin man fälschlicherweise immer den Namenszug der Diana von Poitiers hat erkennen wollen. In ihrer schönen, bunten Dekoration sieht man den Einfluß orientalischer Motive. Ihrer technischen Herstellung nach aber sind die Oirongeschirre Unica, nicht minder durch das Verfahren selbst als durch die wundervolle Ausführung. Nach Brogniarts Untersuchungen bestehen dieselben aus dreierlei Masse: zunächst aus einem Kern von hartgebranntem, kalkfreiem Pfeifenthon, sodann aus einer darüber liegenden Schicht feinen weißen Thones und endlich aus einem dunkelbraunen oder sonstwie gefärbten Thone, welcher zu den Einlagen verwendet wurde. Denn die Ornamente sind nicht wie bei anderen Fayencen mit dem Pinsel aufgemalt, sondern aus der hellen Deckschicht zuerst ausgegraben und dadurch sichtbar gemacht, daß diese Gravierung

mit gefärbter Thonmaſſe ausgefüllt und oberflächlich wieder geglättet worden iſt. Eine dünne, bleihaltige, durchſichtige, ein wenig gelbliche Glaſur überzieht das Ganze, welches ſomit nicht eigentlich zu den Fayencen gerechnet werden kann, ſondern ein ganz beſonderes Genre für ſich darſtellt, das man in Parallele mit den damascierten oder tauſchierten Metallarbeiten (von Tauſia oder Tarſia [ital.] hergeleitet, „eingelegte“ Arbeit bedeutend) zu ſetzen pflegt. Die Herſtellungsweiſe iſt ſo ſubtil und ſchwierig, daß für Imitationen, wie ſolche im Jahre 1873 auf der Wiener Ausſtellung unter anderem von Minton zu ſehen waren, 5—600 Gulden verlangt wurden. Dieſelben waren in der eigentümlichen Technik der Originale hergeſtellt; wir geben in Abb. 90 u. 91 zwei derſelben in Zeichnungen wieder.

In Holland war die Kunſttöpferei früh zur Entwickelung gekommen; ſchon zur Zeit Heinrichs IV. führten Delft und die umliegenden Orte Waren nach England aus, und neben den mannigfachſten Geſchirren ſtanden namentlich die wegen ihrer Größe und ihres ſchönen Ausſehens beliebten Ziegel in hohem Anſehen. Für Heinrichs VII. Palaſt Hamptoncourt und für die Chriſtuskirche in Oxford, ferner für Lord Bacons Reſidenz Gorhambury bei St. Albans wurden weiße, gelbe und grüne Flurplatten aus Holland verwendet, und am Ende des 16. Jahrhunderts beſaßen die Delfter Töpferwaren europäiſchen Ruf. Die weiße Zinnglaſur der Fayencen, welche eine blaue Bemalung erlaubten, wie ſie die teuren chineſiſchen und japaniſchen Porzellane zeigten, in deren Beſitz die Holländer infolge ihrer ausgedehnten Handelsbeziehungen weit früher als das übrige Europa waren, ließ den neuen Induſtriezweig raſch zu hoher Blüte gedeihen, und namentlich war es Delft, wo ſich in Stadt und Umgegend blühende Töpferkolonien von großer Ausdehnung entwickelten. Als Rohmaterial diente ein in der Nähe von Maaſtricht gefundener Thonmergel, welcher mit Sand vermiſcht und nach einmaligem Brennen mit weißer Zinnglaſur bedeckt wurde. Die Zinnglaſur wurde mit Malerei verſehen und das Ganze zum zweitenmal gebrannt. Die alten Delfter Erzeugniſſe, häufig chineſiſche Muſter nachahmend, finden ſich noch allerwärts, namentlich als Ziergefäße, Vaſen u. dergl. auf Kaminen und Schränken als Erbſtück kunſtſinniger Vorfahren in Ehren gehalten.

92. Fayencevaſen von Geoffroy in Gien.

Dieſes pſeudojapaniſche Geſchirr wurde in Delft bis in das 18. Jahrhundert hinein fabriziert, verfiel aber, ſobald in Deutſchland das orientaliſche Porzellan von Böttger nacherfunden war und ſeine Fabrikation in Aufnahme kam.

Nach vielfach vergeblichen Verſuchen iſt es in neuerer Zeit wieder gelungen, den alten Delfter Fayencen ebenbürtige Erzeugniſſe darzuſtellen; ſie werden in Thon, Färbung und Zeichnung am beſten in Delft von der Firma Toft & Labouchère aber auch an anderen Orten, namentlich in Frankreich und Deutſchland, von namhaften Steingutfabriken mit mehr oder weniger Geſchick ſo vorzüglich nachgeahmt, daß ſie von den alten Originalen nicht zu unterſcheiden ſind.

Um dieselbe Zeit, als in Frankreich Majolika fabriziert wurde, stand dieses Kunstgewerbe auch in Deutschland in hoher Blüte, ja in Deutschland hat die Geschichte der Fayence ein höheres Alter als in allen den Ländern, welche diesem Kunstzweige, von Italien unmittelbar oder mittelbar beeinflußt, erst im 16. Jahrhundert Pflege angedeihen ließen. In unserem Vaterlande war die Fabrikation der glasierten Töpferwaren aus einer verfeinerten Ziegelfabrikation, deren Erzeugnisse vielfach architektonischen Zwecken dienten und entweder reich gegliedert oder mit grünen oder braunen Glasuren bedeckt waren, herausgewachsen. Wenn wir auch das Breslauer Grabmal des Herzogs Heinrich nicht als Beispiel für die frühzeitige Erfindung der Zinnglasur anführen wollen, so bleibt dasselbe in seiner ganzen Herstellungsweise immerhin ein ausgezeichnetes Beispiel für die hohe künstlerische Ausbildung, welche schon zu Ende des 13. Jahrhunderts die Thontechnik bei uns erlangt hatte; andere Belege scheinen für verschiedene Orte zu beweisen, daß daselbst im 13. und 14. Jahrhundert die Thonbildnerei über gewisse eigentümliche Verfahren schon verfügte, die anderwärts erst später in Anwendung kamen. Vielleicht erklärt sich dies aus dem hohen Grade der Ausbildung, dessen sich die Glasmalerei in

98. Fayencen in persischem Stile von Parvillée in Paris.

Deutschland erfreute, denn die technischen Erfahrungen dieser Kunst konnten leicht Anwendung auf dem verwandten Gebiete finden. Wenigstens sehen wir eine berühmte Glasmalerfamilie Nürnbergs, die Hirschvogel, von dem Ende des 15. Jahrhunderts an sich der Kunsttöpferei zuwenden, und die besonders ihrer Farben und Glasuren, aber auch ihrer Modellierung wegen berühmten Werke, die wir von ihnen noch kennen, sind zum Teil gleichzeitig mit denen des Luca della Robbia entstanden, so daß wir für sie einen selbstständigen deutschen Ursprung annehmen dürfen. Der ältere Hirschvogel, Veit, ist zwar 1503 nach Urbino gegangen, um die dortige Majolikafabrikation kennen zu lernen, und er soll erst nach seiner Rückkunft in Nürnberg eine Werkstätte für die Herstellung von glasierten Thonwaren eingerichtet haben; indessen zeigen seine Arbeiten in Bezug auf Erfindung der Form und der Verzierung einen so ursprünglich deutschen Charakter, auch sind seine Farben und Glasuren den italienischen gegenüber so anders, daß Italien doch nicht viel mehr als die Anregung zuzuschreiben sein würde. Alles übrige, die ganze Hirschvogelsche Technik, fußt auf Momenten, die sich teils aus seiner Beschäftigung mit der Skulptur (die Reliefverzierungen aller seiner Thonwaren), teils aus der von ihm geübten Glasmalerei (seine eigentümlichen Farben und Glasuren) ergeben. Berühmt sind namentlich die Hirschvogelschen Öfen, die von seinen Söhnen Veit und August auch

nach seinem Tode noch gemacht wurden und von denen sich einige der schönsten auf der Nürnberger Burg befinden.

Von Nürnberg aus verbreitete sich die Majolika- und Fayencetöpferei weiter nach Augsburg und in die Gegenden bis an den Bodensee nach Südwesten, und anderseits über Bayreuth und das ganze Franken, in östlicher Richtung nach Sachsen, Schlesien u. s. w., wobei jeder Gau dieselbe nach seinen Bedürfnissen, Gewohnheiten und der Art der vorhandenen Rohstoffe auf besondere Weise weiterentwickelte. Aus dem 16., 17. und 18. Jahrhundert sind noch viele Belegstücke erhalten, welche den hohen Kunstgeschmack dokumentieren, der in der Zeit der Renaissance in alle Kreise gedrungen war. In der Gegend von Regensburg und Bayreuth war schon frühzeitig die Herstellung eigentümlicher braunmassiger Geschirre betrieben worden, deren Oberfläche mit erhabenen oder vertieften Verzierungen versehen war; nach dem Vorgange Hirschvogels bemalte man sie nun auch noch mittels Emailfarben. Die aus Kreußen und Umgegend stammenden Apostel-, Kurfürsten-, Jagdkrüge sind Beispiele davon. Ähnliche Sachen scheinen auch an anderen Orten, in Sachsen und Schlesien (Piastenkrüge), gemacht worden zu sein; die Bunzlauer Töpfereien hatten ebenfalls Ruf, ebenso die um dieselbe Zeit im Nassauischen, in der Gegend von Koblenz und am Niederrhein gefertigten Thonwaren, jedoch gehören diese Erzeugnisse mehr den harten Massen, dem „Steinzeug", als den Fayencen an.

94. Deutsche Fayence aus dem 16. Jahrhundert.

Neben den fayenceähnlichen weichen Thonwaren wurden nämlich in Deutschland schon frühzeitig Geschirre gebrannt, die in ihrer Masse insofern eine andere Zusammensetzung als die Fayencen zeigen, als Bestandteile darin enthalten sind, welche mit dem Thone bei größerer Hitze schmelzbare Verbindungen geben und im scharfen Feuer daher ein allmähliches Zusammensintern der inneren Substanz bewirken. Solche Bestandteile sind teils feldspathaltiger, teils quarziger Natur; sie geben der Masse einen muscheligen, scharfkantigen Bruch und eine steinartige Härte, die bedeutend genug ist, um dem Stahle Funken zu entlocken. Aus diesen Eigenschaften hat sich der Name Steinzeug gebildet, der diesen Fabrikaten zum Unterschiede von der weichen Ware gegeben wird. Die Vorbedingungen für ihre Zusammensetzung finden sich in vielen natürlich vorkommenden Erden, so namentlich in den Westerwald-Thonen, die schon bei einer Temperatur klinkern und dicht werden, die wenig höher als die zum Brennen der Fayencen angewendete ist; man muß die anfängliche Entstehung dieses Zweiges der Thonwarenindustrie daher in erster Linie dem eigentümlichen Verhalten der Thone beim Brennen, weniger der Absicht der Fabrikanten zuschreiben, ein anders geartetes Fabrikat herstellen zu wollen. Wir finden denn auch diese harten Thonwaren fast überall und oft gleichzeitig mit weichen Geschirren dargestellt. Und zwar wurden aus Hartmasse nicht bloß gewöhnliche Gebrauchsgeschirre gefertigt, sondern dieselbe diente auch zur Herstellung von Erzeugnissen für dekorative Zwecke, und sie hat sogar in manchen Gegenden die Töpferei, namentlich zur Zeit der Renaissance, auf eine solche Kunsthöhe gebracht, daß sie ihre Werke getrost neben die besten italienischen Majoliken stellen konnte.

Da die Steinzeugmasse an und für sich für Flüssigkeiten undurchdringlich ist, bedarf sie erst in zweiter Linie einer Glasur, die mehr eine Forderung des Geschmacks als des Bedürfnisses ist. Um die Steinzeugfabrikate zu glasieren, bedient man sich häufig eines

eigentümlichen Verfahrens, des sogenannten „Salzens“, welches um 1670 von dem Töpfer Palmer in Burslem entdeckt ist und darin besteht, daß man während des Brandes, namentlich gegen Ende desselben, Salz in die Feuerungen wirft. Hiervon wird später, im technischen Teil eingehender die Rede sein. Die Farbenauswahl für die Bemalung ist beim Steinzeug infolge des schärferen Brandes sehr eingeschränkt. Von den Metallfarben, welche in der Majolikamalerei Anwendung finden, können, wenn nicht die Ware wiederholt gebrannt werden soll, nur die wenigen gebraucht werden, welche Scharffeuer aushalten, wie z. B. Kobalt für Blau, Braunstein für Violett und Braun. Aus diesen Gründen hat die Steinzeugtechnik ihren künstlerischen Schwerpunkt auch nicht in der Bemalung, sondern in der Formgebung gesucht, in der Modellierung, in der Ausarbeitung von Reliefverzierungen, Gravierungen u. dergl., die nur durch einige wenige Farbentöne zu heben versucht werden.

Steinzeugähnliche Massen kommen bereits in den ägyptischen Hinterlassenschaften als sogenanntes ägyptisches Porzellan vor; in China und Japan wurden sie ebenfalls in frühesten Zeiten hergestellt. Mit Untersuchungen außereuropäischer Gegenstände wollen

95. Nachbildungen alter Krüge von Fleischmann in Nürnberg.

wir uns aber nicht aufhalten. Für Deutschland hat diese Technik eine besondere Bedeutung seit dem 15. Jahrhundert gewonnen, weil die künstlerische Richtung dieses Gewerbes, bei uns ohnehin mehr auf plastische Gestaltung als auf malerischen Schmuck gerichtet, sich des feinen dauerhaften Materials mit Vorliebe bemächtigte und damit Wundervolles geleistet hat. Wir haben weiter oben schon erwähnt, daß in Franken, Sachsen und anderen Orten Steinzeuggeschirre sehr zeitig gemacht worden sind; auch von Frankreich wissen wir Ähnliches aus den nördlichen Provinzen, denn die Thonwaren von Beauvais, die bis ins 14. Jahrhundert hinein sich verfolgen lassen, gehören dieser Gattung gleichfalls an. Die vollendetste Ausbildung fand dieser Zweig des Kunsthandwerks aber in den Gegenden des Niederrheins, wo die Mitte des 16. Jahrhunderts die Zeit seiner schönsten Blüte bezeichnet. Namentlich waren es die Striche um Köln und Koblenz herum, ferner Nassau mit dem sogenannten Kannenbäcker-Ländchen und die Gegend von Bonn, welche dazu das Beste beitrugen. In Museen und Privatsammlungen sind ihre Erzeugnisse in vielen Exemplaren noch heute erhalten: Krüge von allen denkbaren Formen und in reicher Mannigfaltigkeit, verziert durch Reliefdarstellungen oder eingepreßte Ornamente mit Wappen, Inschriften und Jahreszahlen, ferner Kannen, vasenartige Gefäße, Flaschen von phantastischen Formen, in derselben Art behandelt, Schreibzeuge, Salzfässer,

Figuren u. s. w. Natürlich stehen sie nicht alle gleich hoch in Bezug auf Schönheit der Form und Ausführung, die besseren aber zeigen einen außerordentlich fein entwickelten selbständig schaffenden Kunstsinn, und sogar die gewöhnlichen beweisen, daß in der Zeit ihrer Entstehung das Handwerk selbst in seinen niedrigsten Leistungen sich dem veredelnden Hauche der Kunst nicht entziehen mochte.

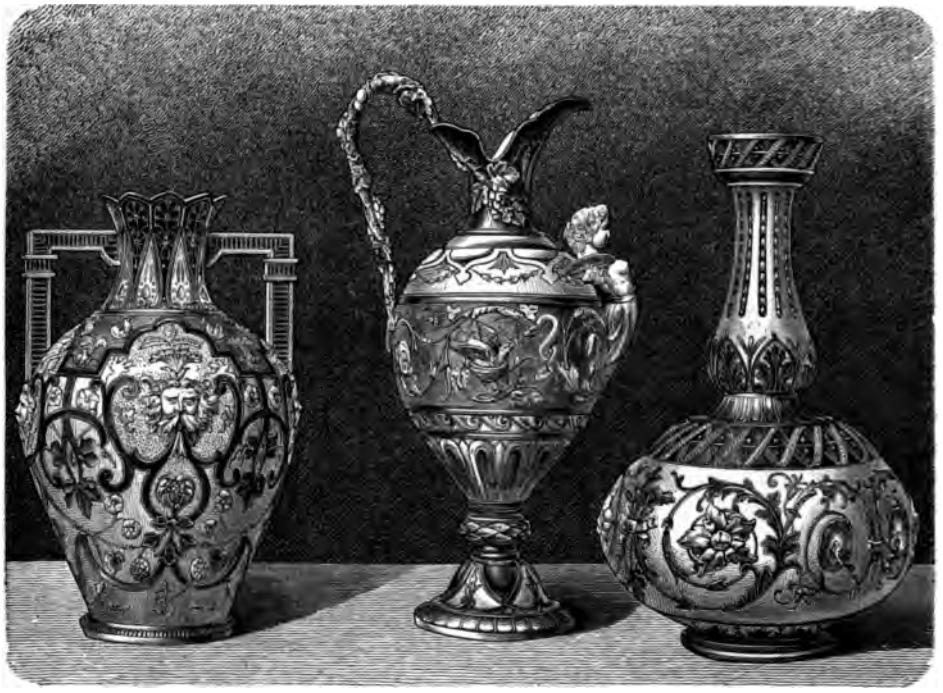
Die Masse dieser vordem fälschlicherweise immer als flandrische Krüge bezeichneten Thonwaren ist entweder rein weiß, wie in den Kölner, richtiger Siegburger, konischen Pinten und Krügen, oder gelblichgrau, wie die der Nassauer, vielfach mit Wappen und Mascarons (Bartkrüge) gezierten Gefäße, oder graublau (Frechen und Raeren). In letzterem Falle wurde durch eine dicke, gewöhnlich braune Glasur die Farbe des Thones verdeckt, freilich auf Kosten der Schärfe der Reliefs. Die letzteren selbst, szenische Darstellungen aus der biblischen Geschichte, so z. B. die Geschichte der Susanna, aus der Mythologie, aus dem gewöhnlichen Leben (Bauerntänze, Zechgelage, Landsknechte), oder Masken, Ornamente und Sinnsprüche, Wappen, Devisen, Jahreszahlen und Töpferzeichen wurden in Formen ausgedrückt und als dünne Plättchen auf das vorgearbeitete Gefäß aufgelegt, oder als vertiefte Verzierungen entweder aus freier Hand eingegraben, oder mittels metallener Stempel eingedrückt. Zur Färbung dienten außer der schon genannten braunen Glasur nur wenige Töne wie Blau, Violett, Schwarz zur Hebung der Reliefs. In neuerer Zeit hat sich unter anderen Professor Frauberger bemüht, die Raerener Töpferei wieder neu zu beleben. — Die schönsten dieser kunstvollen Gefäße, die ihrer Zeit als Dekorationsstücke auf Kaminen und Schränken figurierten und neben silbernen und goldenen Geräten zum Tafelschmuck der Reichen dienten, wurden in Siegburg gemacht und bildeten einen bedeutenden Handelsartikel, der, weil er über Köln ging, „Kölnische Ware" genannt wurde. Sie zeichnen sich durch eine sehr schöne reine, elfenbeinähnliche Färbung, scharfe Reliefs von guter Zeichnung und durch eine sehr dünne Salzglasur aus. Wenn sie gefärbt sind, so ist dies in Blau in sehr maßvoller Verteilung. Die Nassauer Krüge dagegen sind vielfach außer mit Blau auch mit Violett getönt. Diese Töpferarbeiten sind es hauptsächlich, die jetzt wieder häufig nachgeahmt werden, am besten an einer der alten Produktionsstätten selbst, in Grenzhausen von Merkelbach, in Mettlach von Villeroy und Boch, in Freysing in Bayern und anderwärts; auch ist es in der Gegenwart durch die Fortschritte der Chemie gelungen, den Farbenreichtum und die Dekorationsfähigkeit dieser Fabrikate erheblich zu erweitern und dadurch die Erzeugnisse in vorher nie gekannter Weise zu veredeln.

96. Renaissancekrug von Prof. Alex. Schmidt. (Ausgeführt von der Wächterbacher Steingutfabrik.)

Aber auch die Majolika- und Fayencefabrikation steht in neuerer Zeit bei uns und in anderen Kulturländern wieder in hoher Blüte, und angeregt durch die glänzenden Arbeiten namentlich Segers hat man gelernt, Farben und Glasuren herzustellen, deren Leuchtkraft, Tiefe und Mannigfaltigkeit der Töne die aus früheren Jahrhunderten überkommenen Kunsterzeugnisse weit übertreffen. Werkstätten wie die von Villeroy und Boch in Dresden und Mettlach, Guilleaume in Bonn, Fleischmann in Nürnberg, Klammert in Znaim, Zsolnay in Fünfkirchen (Ungarn), Merckelbach in Grenzhausen, Seydel & Sohn

in Dresden, Schwarz in Nürnberg, Utzſchneider in Saargemünd u. a. haben raſch ſich auf eine hohe Stufe emporgeſchwungen und Majoliken von bewundernswürdiger Schönheit geſchaffen.

Die größte der genannten Anlagen iſt die erſterwähnte; faſt alle Fächer der Thonwareninduſtrie umfaſſend, hat ſie indeſſen eine beſondere Aufmerkſamkeit der Erzeugung von Flieſen zu Wand- und Fußbodenbekleidung zugewandt. Fleiſchmann ahmt alte Öfen und Dekorationsgegenſtände nach, in Znaim und Grenzhauſen wird ebenfalls nach alten Muſtern gearbeitet, während Seydel & Sohn in Dresden und Schütz in Cilli die Entwürfe lebender Künſtler ausführen. Auf den letzten Pariſer Weltausſtellungen glänzten die Arbeiten von Th. Deck, Parvillée u. a. in Paris, von Geoffroy in Gien und auf der Weltausſtellung in Chicago 1893 thaten ſich beſonders die Fayencen von Rokwood hervor; auf der Berliner Gewerbeausſtellung 1896 erregte ein mit Wandbekleidungsplatten



97. Steinzeuggefäße von W. T. Copeland & Sons in Stoke-upon-Trent.

ausgelegtes Badezimmer von Utzſchneider durch die Schönheit der Malerei, die Leuchtkraft der Farben und die Sauberkeit der Ausführung allgemeine Bewunderung. Auf der diesjährigen Ausſtellung (1898) neuerer keramiſcher Kunſterzeugniſſe im Kgl. Gewerbe-Muſeum zu Berlin zeichneten ſich neben lüſtrierten Fayencen der Franzoſen Maſſier, Keller & Guerin, Dalpayrat und Steinzeugwaren mit zum Teil matten eigenartigen Farbglaſuren von Müller & Co. (Paris), Bigot, Lachenal, Dammonſe u. a. namentlich dekorative Fayencen von Kornhaas (Karlsruhe), Länger (Stuttgart), Stahl (Berlin) durch die Eigenart ihrer künſtleriſchen Motive aus. Auch auf der Ausſtellung in Stockholm 1897 hatte man Gelegenheit, neben Porzellan Majoliken und Fayencen aus däniſchen und ſchwediſchen Fabriken zu bewundern, die zu dem Schönſten gerechnet werden müſſen, was auf dieſem Gebiete je geſchaffen worden iſt; namentlich hervorzuheben ſind in Dänemark die Lüſterfayencen von Kähler in Neſtved und in Schweden diejenigen der Fabrik in Rörſtrand.

Von den Fleiſchmannſchen Imitationen alter Thonwaren ſtellen wir in Abb. 95 einige dar, welche zugleich für die Illuſtration der Originale dienen können. Der erſte, ſogenannter Landsknechtskrug, ſowie der dritte ſind im Original Hirſchvogelſchen

Ursprungs; der zweite ist einer der unter dem Namen Kölner Pinten bekannten Krüge, welche aber in vollkommenster Art nicht in Köln, sondern in Siegburg gefertigt wurden, und wie der in Nr. 4 dargestellte Kreußener Krug nicht zu den Fayencen, sondern zu den Steinzeugen gehörten, und zwar gehört der letztere zu den bayrischen.

In Abb. 99 endlich geben wir die Abbildung eines anderen alten deutschen Steinkrugs aus dem 16. Jahrhundert wieder. Zu erwähnen ist, daß die Steinzeugfabrikation auch in Holland und in Frankreich bereits im 15. Jahrhundert in Blüte stand.

Da diese Erzeugnisse für Flüssigkeiten undurchdringlich sind, so fanden sie ausgedehnten Gebrauch zu Wirtschaftszwecken, für die sie auch ihrer Billigkeit und Dauerhaftigkeit wegen besonders geeignet erscheinen, und bildeten zumal in Ländern mit ausgedehntem Bierkonsum von jeher einen lebhaft begehrten Handelsartikel; will man doch neuerdings gefunden haben, daß in durchsichtigen Glasgefäßen das Bier sich in seiner chemischen Zusammensetzung schneller verändert, als in undurchsichtigen Steinkrügen — eine Erscheinung, die in erster Linie wohl auf die mangelhafte Zusammensetzung und die dadurch ermöglichte leichte Angreifbarkeit der Gläser durch Flüssigkeiten zurückzuführen sein dürfte. Die Glasur der Steinzeuggeschirre ist jedenfalls von erheblicher Widerstandsfähigkeit gegen saure oder alkalische Flüssigkeiten, Fette u. a. und das Steinzeug dadurch als Haushaltungsgerät allen ähnlichen Erzeugnissen mit alleiniger Ausnahme des Porzellans vorzuziehen. Dies wußten auch schon unsere Altvorderen, und so sehen wir schon die alten Steinzeuggeschirre, deren Glanzperiode von 1540—1620 gerechnet wird, zu Ende des 16. Jahrhunderts als Bedarfs- und Luxusartikel bis nach England hin verfrachtet, wo die Thongeschirrfabrikation noch wenig entwickelt war. Auch nach den wenigen Exemplaren älterer Töpferwaren, welche in England aufgefunden worden sind, und von denen man annehmen kann, sie seien im Lande angefertigt, sind wir zu schließen berechtigt, daß die Töpferei im Mittelalter dort sehr daniedergelegen, so daß der Bedarf fast ausschließlich vom Auslande gedeckt werden mußte. Unter der Königin Elisabeth tranken, wie Kolbe in seiner „Geschichte der Königl. Porzellan-Manufaktur zu Berlin" berichtet, sogar die Kavaliere noch aus ledernen Bechern, so daß die Franzosen jener Zeit spottender Weise von den Engländern sagten, sie tränken aus ihren Stiefeln. Nach Godard sind es hauptsächlich deutsche und niederländische Töpfer gewesen, die die Thonwarenfabrikation Ende des 16. Jahrhunderts nach England hin verpflanzten. So sollen die Antwerpener Andrics und Janson schon 1570 eine Töpferei in Lambeth bei London errichtet haben. Mit Sicherheit wissen wir, daß im Jahre 1688

98. Chinesische Porzellangefäße.

die Gebrüder Elers aus Nürnberg in Staffordſhire Thonwaren fabrizierten und daß ſie 1710 nach Lambeth überſiedelten und daſelbſt die Begründer der engliſchen Steinzeug-Induſtrie wurden. In dieſe Zeit fallen einige Entdeckungen, welche für die ganze Thonwarenfabrikation von einſchneidendſter Bedeutung wurden. Im Jahre 1690 oder kurz vorher wurde die durch die Zerſetzung von Kochſalz durch die Ofenhitze entſtehende Salzglaſur durch den Töpfer Palmer in Burslem entdeckt, woſelbſt die übermäßige Erzeugung von Salzdämpfen in der erſten Zeit eine ſo ungeheure geweſen ſein ſoll, daß die Stadt Burslem regelmäßig am Sonnabend Morgen in eine dichte weiße Wolke gehüllt wurde. Kurz darauf im Jahre 1720 gelang es dem jüngeren Aſtbury, die Anwendbarkeit calcinierter und gemahlener Feuerſteine für die Magerung der fetten Thone nachzuweiſen, eine Neuerung, die zu der Entſtehung der feinen, weißen, harten aber waſſerdurchläſſigen Majolika, die man heutzutage allgemein als „Steingut“ bezeichnet, führte und daher einen weſentlichen Fortſchritt in der Fabrikation feinerer Thonwaren bedeutete. Nicht minder von Belang war endlich die dritte Neuerung, welche in der Anwendung der Gipsform beſtand, deren ſich zuerſt der Franzoſe Ralph Daniel bediente.

99. Pilgerflaſche. (Deutſches Steinzeug aus dem 16. Jahrhundert.)

Nun nahm die Töpferei in England mit Beginn des 18. Jahrhunderts einen raſchen Aufſchwung, namentlich durch die Arbeiten Chaffers, Penningtons und Wedgwoods. Namentlich dem letztgenannten, Joſuah Wedgwood, verdankt die engliſche Thonwaren-Induſtrie die wirkſamſte Förderung und Ausbildung.

Als der Sohn eines Töpfers 1730 zu Staffordſhire geboren, verhalf er zu einer Zeit, wo durch faſt moderne Maſſenproduktion und gewinnſüchtige Haſt, ſo billig wie nur möglich zu produzieren, der urſprünglich edle Charakter der Fayencen ganz verloren gegangen war, ſeinen Arbeiten dadurch wieder zu höherem Wert, daß er die Maſſe veredelte, die Glaſuren verbeſſerte und den Erzeugniſſen geſchmackvollere, den ſchönen antiken Muſtern nachgebildete Formen gab. Der Zubereitung der Maſſen wurde größere Sorgfalt gewidmet, als es bei den gewöhnlichen Töpferwaren Brauch war, indem die Erden in fein geſchlämmtem Zuſtand verwendet und mit Fluß- und Magerungsmitteln wie Kalk, Gips, Knochenaſche, Feldſpat, Feuerſtein oder Quarzſand verſetzt wurden; auch durch Metalloxyde gefärbte Maſſen kamen durch Wedgwood in Aufnahme, ſo ein Baſaltgut, ein Jaſpisgut, eine Achatmaſſe und anderes mehr. Vielfach wurden dieſe farbigen Maſſen als Grundton angewendet und, ähnlich wie es bei den Gemmen iſt, weiße Reliefs darübergeformt, die den dunklen Hintergrund teilweiſe bedeckten. Bei ſeinen Arbeiten wußte er ſich des Rates berühmter Künſtler zu

versichern und die bedeutendsten Maler und Bildhauer seines Landes, wie Flaxmann, heranzuziehen; auch studierte er selbst mit großem Eifer die in den Kunstsammlungen erhaltenen klassischen Geräte. Fleiß, Ausdauer und die erlangte künstlerische Ausbildung brachten ihn dahin, daß er 1770 eine kleine Fabrikstadt für seine Arbeiter anlegen konnte, der er den Namen Etruria gab, und die er durch eine eigene Kunststraße von zwei Meilen Länge mit der Nachbarschaft verband; vorher schon hatte er die Anlegung des Kanals zwischen dem Trent und Mersey begonnen. Wedgwood starb 1792 zu Etruria, und jetzt segnet eine Bevölkerung von über 160 000 Menschen, die in jenem Bezirke — den Potteries — ihr tägliches Brot mit allen möglichen Töpfer- und Steingutarbeiten verdienen, das Andenken des Mannes, der, aus ihrem eignen Stande hervorgegangen, durch Genie, Charaktergröße und Ausdauer einen hochbedeutenden, noch jetzt blühenden Industriezweig schuf.

Neben der durch Wedgwood vertretenen Steingutindustrie blühten im 17. und 18. Jahrhundert in England große Töpfereien, Steinzeugfabriken und die Ziegel- und Fliesenfabrikation; Sadler und Green führten die Kunst des Druckes auf Steingut ein, und Richard Chaffers stellte um 1752 herum das erste Knochenporzellan her, eine Fabrikation, die noch heute namentlich in England erfolgreich betrieben wird. Auch die neueren Steingut- und Majolikafabriken Englands stehen in hohem Ruf, und in den Etablissements von Wedgwood in Etruria und von Minton in Stoke-upon-Trent (Staffordshire) besitzt jenes Land mit die großartigsten Kunsttöpfereien der Welt, deren Hervorbringungen die Bewunderung aller Kenner und Kunstliebhaber erregen.

100. Josiah Wedgwood.

Mit dem Auftreten dieser neuen edleren Erzeugnisse, namentlich aber seitdem es dem Arkanisten Johann Friedrich Böttger auf der Albrechtsburg bei Meißen gelungen war, echtes, dem orientalischen ebenbürtiges Porzellan herzustellen, verlor die ältere Majoliken- und Fayenceindustrie ihre Führerschaft, und die besseren Kräfte wandten sich namentlich der Porzellanfabrikation zu, die unstreitig den edelsten Zweig der Thonverarbeitung bildet und ein Produkt liefert, welches bei ausgezeichneter Schönheit die schätzenswertesten Eigenschaften aller übrigen Thonwaren in sich vereinigt. Bei vollkommener Undurchdringlichkeit, außerordentlicher Härte und Feuerbeständigkeit widersteht es einem raschen Temperaturwechsel so gut, daß es mit Erfolg selbst zur Herstellung von Kochgeschirren verwendet werden kann, und durch seine rein weiße Farbe, verbunden mit einem gewissen Grade von Durchscheinbarkeit, eignet es sich sehr gut zur Anbringung von Malereien und bildet somit einen wertvollen Stoff nicht nur zum häuslichen und technischen Gebrauch, sondern nicht minder zu den Luxusartikeln, welche durch künstlerischen Schmuck veredelt werden sollen.

Das Porzellan ist eine Erfindung der ostasiatischen Völker und zwar der Chinesen. Es wurde von diesen und von den Japanern schon etwa 1200 Jahre früher hergestellt als in Europa, und zwar in einer Vollkommenheit, wie sie bei uns nur an wenigen Orten erreicht worden ist. Die Erfindung des Porzellans in China datiert — abweichend von früheren Mitteilungen Juliens — nach neueren umfassenden Untersuchungen Hirths, die

in deſſen Schrift „Ancient porcelain, a study in Chinese mediaeval industry and trade“ (1888) niedergelegt ſind und die man wohl als die zuverläſſigſten bisher bekannt gewordenen Forſchungen anſehen darf, ungefähr aus dem Jahre 600 n. Chr. In dieſer Zeit regierte die Dynaſtie Tang (617—907 n. Chr.), aber es ſcheinen aus dieſer Epoche keine Porzellane mehr vorhanden zu ſein, wohl aber kennt man aus der nachfolgenden Dynaſtie Lung (960—1278) noch Porzellane, welche darthun, daß man in China damals ſchon Seladon-Porzellane zu fabrizieren verſtand. Von China hat ſich die Fabrikation nach Japan verpflanzt, wo ſie ſelbſtändig weiter entwickelt worden iſt; dagegen ſollen die ſiameſiſchen alten Porzellane, ſowie die in Perſien und Indien gefundenen Fabrikate nach A. B. Meyer (Lung ch'üan-yao oder Altes Seladon-Porzellan. 1889) ausſchließlich chineſiſchen Urſprungs ſein.

Der erſte Porzellanofen ſtand zu Chan-Nan in der Provinz King-Si. Jetzt ſoll es in China Ortſchaften geben, welche, wie das Dorf Rüitchin, mehrere tauſend Porzellanöfen in Thätigkeit haben. Die erſten Nachrichten über dieſes eigenartige Fabrikat drangen durch den Venezianer Marco Polo 1298 nach Europa, aber erſt gegen das Jahr 1500 oder wenig ſpäter brachten die Portugieſen, welche den früheſten Handel mit jenen nach Oſten gelegenen Teilen der Erde trieben, das erſte chineſiſche Porzellan nach Europa. Infolge des großen und allgemeinen Beifalls, den die Ware fand, führten ſie immer größere Maſſen davon ein, und ſie waren es auch, die ihm ſeinen Namen gaben. Dieſer iſt von der Porzellanſchnecke entlehnt, an deren Schale der eigentümliche Lüſter des Porzellans erinnert. Dieſe Schnecke heißt aber bei den Portugieſen ihrer Formhalber porcella (Schweinchen), und ſo hat nicht etwa dieſe Schnecke vom Porzellan ihren Namen, ſondern die Sache verhält ſich eben umgekehrt. Die Gefäße, welche man aus Oſtaſien nach Europa brachte, glänzten als Raritäten in den Kunſtkabinetten, ja ſie wurden nicht nur mit Gold aufgewogen ſondern ſogar gegen lebende Menſchen eingetauſcht, denn Kurfürſt Auguſt II. von Sachſen gab dem erſten Könige von Preußen für 48 chineſiſche Gefäße, die ſich zum Teil jetzt noch in der Gefäßſammlung des Johanneums befinden, ein ganzes Dragonerregiment. Mit den Porzellangeſchirren wanderte aber nicht die Erfindung ſelbſt in Europa ein, dieſe mußte vielmehr hier noch einmal gemacht werden, was bekanntlich erſt geſchah, nachdem volle 200 Jahre lang das chineſiſche Porzellan keinen Nebenbuhler auf dem europäiſchen Markte gehabt hatte; denn die Fayencen, inſonderheit die Delfter, welche zur Nachahmung des chineſiſchen Porzellans in gleichem Stile geformt und bemalt wurden, waren allenfalls ein äußerliches Surrogat, allein keinesfalls erreichten ſie in Bezug auf ihre inneren Eigenſchaften ihre oſtaſiatiſchen Vorbilder und Nebenbuhler. Es heißt, die Chineſen hätten ihre Kunſt ſehr geheim gehalten, es ſcheint aber eher, daß die Fremden es nur nicht verſtanden, ſich Belehrung zu verſchaffen; denn die Chineſen haben all ihr Wiſſen und Können ſeit lange ſchon in bändereichen Encyklopädien niedergelegt, und es iſt vor wenigen Dezennien das Buch der Porzellanbereitung, wie früher das des Seidenbaues, von dem franzöſiſchen Gelehrten Julien überſetzt worden. Für uns iſt dieſes Werk indeſſen nur dadurch intereſſant, daß es zeigt, wie die

101. Chineſiſches Fiſchbecken aus dem 18. Jahrhundert.

Chinesen fast genau dasselbe Verfahren einschlagen wie wir und mit ganz den nämlichen Materialien arbeiten. Merkwürdigerweise findet selbst die Analogie statt, daß auch in China die Regierung diese Industrie von Anfang an in die Hand genommen hat und die Staatsfabrik das Musterbild für die Privatunternehmungen wurde. Die kaiserliche Fabrik blüht noch jetzt; sie bildet eine große, ausgedehnte Fabrikstadt mit vielen Tausenden von Arbeitern und hatte im vorigen Jahrhundert über 3000 Brennöfen.

In dem erwähnten chinesischen Lehrbuche der Porzellanfabrikation sind alle hierbei vorkommenden Operationen nicht nur genau beschrieben, sondern auch durch zahlreiche Abbildungen veranschaulicht, wie es die Chinesen in allen ihren Werken lieben. Wir nehmen Gelegenheit, unseren Lesern nebenstehend eine Probe chinesischer Darstellungsweise zu liefern, indem wir in den Abb. 98 und 101 einige dieser Bilder herausheben.

Die chinesischen Porzellane, welche heute genau noch in demselben Stile gefertigt werden wie vor Jahrhunderten, zeichnen sich durch eine höchst gleichartige, häufig grünlich durchscheinende Masse und durch eine meist gut spiegelnde Glasur aus. Die Malerei ist in ebenso origineller Weise gehalten wie die Form, und wenn beide auch unseren Begriffen von Schönheit nicht immer entsprechen, so ist die Gesamtwirkung, welche die Form und die farbige Verzierung chinesischer und japanischer Porzellane hervorbringt, immer eine harmonische.

Die Beliebtheit und Kostbarkeit des chinesischen Porzellans mußte natürlich den Nachahmungstrieb heftig anregen; man bemühte sich, eine ähnliche Masse herzustellen, und so kam zuerst in Frankreich, im Jahre 1695, ein nachgeahmtes Porzellan zum Vorschein, das zwar im Äußeren dem echten sehr ähnlich war, aber wenig von dessen guten Eigenschaften an sich hatte, denn es war nicht dauerhaft in der Hitze, überhaupt zu weich, und bestand eigentlich aus nichts anderem als aus einer Glasmasse, die durch weiße Substanzen undurchsichtig gemacht war (Frittenporzellan). Dabei war seine Anfertigung höchst umständlich und die Masse zum Formen infolge mangelnder Bildsamkeit so wenig geeignet, daß man mit einem Zusatze von Seife oder Gummi nachhelfen mußte, was natürlich nicht zur Güte des Produktes beitragen konnte.

Das Wahre aufzufinden, war den Deutschen vorbehalten, und zwar wurde die Erfindung des Porzellans in Sachsen nicht, wie man gewöhnlich glaubt, durch Zufall gemacht, sondern nach langen Versuchen, die der berühmte, um die sächsische Glasindustrie in hohem Maße verdiente Naturforscher Ehrenfried Walter Graf von Tschirnhausen, dem Sachsen seine erste Glashütte verdankt, zuerst angestellt hat, um die nutzbaren Mineralien des Landes Sachsen industriell zu verwerten. Diese Versuche führten ihn auch dahin, die kostbaren Porzellangefäße, für welche sein prachtliebender Fürst August der Starke eine große Vorliebe hatte, nachahmen zu wollen, und es scheint, daß seine Bestrebungen nicht unglücklich gewesen sind, denn in der Biographie, welche die Akademie der Wissenschaften zu Paris von Tschirnhausen, der Mitglied dieser gelehrten Körperschaft war, herausgab, heißt es: „Während seines Aufenthalts zu Paris (1701) machte Herr von T. dem Herrn Homberg Anzeige von einem Geheimnis, welches er entdeckt habe, ebenso wichtig als dasjenige der Herstellung seiner großen Linsengläser; das ist die Porzellanbereitung. Herr von T. hat Homberg von seinem Porzellan mitgeteilt, im Austausch gegen einige andere Geheimnisse, und gegen das Versprechen, in seinem Leben keinen Gebrauch davon zu machen.“ — Die Quelle, welche diese Notiz enthält, und die Persönlichkeit Hombergs, der ein berühmter Chemiker war, beweist, daß, wenn auch ein dem echten chinesischen Porzellan völlig entsprechendes Produkt von Tschirnhausen 1701 noch nicht gefunden worden war, seine Arbeiten in dieser Richtung doch bereits zu namhaften Erfolgen geführt haben mußten. In der Dresdener Gefäßsammlung bewahrt man von Tschirnhausen herrührend fünf kleine Krüge auf, die allerdings noch von einer fertigen Porzellantechnik weit entfernt sind, die aber immerhin insofern über den ersten Böttgerschen Erzeugnissen stehen, als sie in ihrer Masse ganz weiß sind.

Während sich also Tschirnhausen mit Versuchen befaßte, Porzellan aus inländischen Materialien herzustellen, und dabei gewiß erfolgreicher gewesen wäre, wenn er die Porzellanbereitung weniger glastechnisch betrieben hätte, erhielt der Kurfürst Nachricht über einen

gewissen Böttger, der, aus Schleiz gebürtig (4. Februar 1682), in Berlin bei einem Apotheker gelernt hatte und dann plötzlich unter großem Aufsehen daselbst als Goldmacher aufgetreten war. Eigentlich hatte er nur von einem italienischen Charlatan etwas Goldpulver mit der Weisung erhalten, erst nach seiner Abreise Gebrauch davon zu machen. Da alle diese Pulver und Tinkturen stets goldhaltig waren, so war es keine Kunst, durch Vergolden von schlechten Knöpfen die Leute zu täuschen. Böttger aber gab sich selbst für den Erfinder aus, weshalb der preußische König sich seiner Person zu versichern suchte. Der Adept entging seiner Verhaftung durch die Flucht nach Sachsen — Wittenberg — von wo ihn Preußen mit Ungestüm zurückforderte. Da man indessen von der unwiderlegbaren Ansicht ausging, einen wirklichen Goldmacher auch in Sachsen gebrauchen zu können, so wurde er nicht ausgeliefert, sondern nach Dresden gebracht, um seine edle Kunst hier für sein engeres Vaterland nutzbar zu machen. Dies that er zwar auch — aber auf eine unvorhergesehene Art. Mit der eigentlichen Goldmacherei war es natürlich nichts; denn obgleich Böttger sich rühmte, das Arkanum, wie man es nannte, zu besitzen, so jagte er dennoch große Summen durch den Schornstein, ohne damit auch nur ein Gran Gold zu erzeugen. Alle Schmeicheleien und Drohungen konnten dem Ärmsten nicht ein Geheimnis entreißen, das er in der That nicht besaß. Sie waren aber belästigend genug, um unserem Alchemisten Sachsen zu enge zu machen. Er wollte nach Wien entfliehen, von wo ihm vorteilhafte Anerbietungen gekommen waren; allein der Versuch mißlang und hatte eine nur um so ängstlichere Bewachung zur Folge.

Zur besonderen Beaufsichtigung Böttgers und seiner Arbeiten war Tschirnhausen bestellt worden, und es ist mehr als wahrscheinlich, daß dieser kenntnisreiche und zugleich praktisch denkende Gelehrte, die Fähigkeiten seines Schützlings wohl erkennend, und um denselben eine nützliche Richtung zu geben, ihn veranlaßte der Porzellanbereitung nachzugehen. Der Fluchtversuch Böttgers nach Österreich geschah im Jahre 1703; die darauf folgende Zeit verbrachte Böttger auf der Albrechtsburg in Meißen. Im Jahre 1706 saß er auf dem Königstein, im nächsten Jahre dagegen wurde er in Dresden selbst auf der damals sogenannten Venusbastei, der heutigen Brühlschen Terrasse, in Gewahrsam gehalten, immer aber vom König reichlich mit den erforderlichen Mitteln versehen, seine Versuche fortzusetzen. Im strengsten Verschlusse, von Wachen fortwährend umgeben, mußte er hier seine Arbeiten ausführen, und es war gewiß nicht das Ergebnis freien, freudigen Forschens, wenn es ihm endlich, wie man sagt bei Anfertigung eines Schmelztiegels mit Hilfe des roten Thones von Ockrilla aus der Gegend von Meißen, im Jahre 1704 gelang, eine rote Masse zu erzeugen, welche mit dem Porzellan manche Ähnlichkeit hatte und deshalb große Hoffnung erregte. Dergleichen rote Geschirre aus der ersten Zeit der europäischen Porzellanbereitung finden sich außer im Johanneum in Dresden noch in anderen Sammlungen und bei Liebhabern. Das weiße Porzellan erfand Böttger erst im Jahre 1709, nachdem ihm das mineralische Pudermehl von Aue bei Schneeberg, eine sehr reine Porzellanerde, in die Hände gefallen war. Die Entdeckung der Porzellanerde bei Aue schreibt man einem Hammerschmied Johann Schnorr zu, der zuerst bei der Beaufsichtigung seiner Zugpferde auf die eigentümliche weiße Erde aufmerksam geworden sein soll, welche diese mit ihren Hufen herausgerissen. Da zu jener Zeit der Gebrauch des Haarpuders allgemein und Schnorr ein spekulativer Kopf war, so schien es ihm ein einträgliches Unternehmen, die weiße Erde zu trocknen, zu reinigen, auf das feinste zu schlämmen und sie dann als Ersatz für das viel teurere Weizenmehl zu verkaufen. Ein Paket solcher Pudererde gelangte auch Böttger in die Hände, der als Gefangener wahrscheinlich manchmal Gelegenheit gehabt haben wird, für seine Toilette selbst zu sorgen. Der Versuch, sie auf Porzellan zu verarbeiten, gelang auf das vortrefflichste; der Stein der Weisen zwar nicht, aber etwas bei weitem Nützlicheres war gefunden und der Bedrängte gerettet, als er im März 1709 dem Könige das erste weiße Porzellan als Produkt seiner Erfinderthätigkeit überreichte.

Tschirnhausen war das Jahr vorher gestorben. Sein Anteil an der Erfindung der Porzellanbereitung wird von vielen Seiten zu gering angeschlagen; unter anderem ist wahrscheinlich auch der Umstand, daß, weil sich für die ersten braunen harten Geschirre keine geeignete Glasur fand, man dieselben oberflächlich durch Schleifen glättete und polierte,

auch wie Glas gravierte, auf seinen Einfluß zurückzuführen. Denn zur Herstellung seiner großen Brenngläser unterhielt Tschirnhausen im Plauenschen Grunde Schleifmühlen, und es mußte ihm von selbst der Gedanke kommen, das rauhe Porzellan wie das Glas zu behandeln, um ihm ein gefälligeres Äußere zu geben. Auch die glasähnliche Glasur, die man an gewissen dunkelbraunen Geschirren bemerkt, welche man als ältestes sächsisches Porzellan zu bezeichnen pflegt, könnte auf Tschirnhausen hinweisen, der im Ostragehege bei Dresden eine Glashütte im Betriebe hatte.

Die alten braunen Thonwaren selbst, die der Erfindung des weißen Porzellans vorausgingen, auch noch bis 1730 neben diesem mit gemacht worden sein sollen, sind unter sich von einem so verschiedenen Charakter, daß ein Zusammenhang mit dem Porzellan selbst mitunter gar nicht zu erkennen ist. Als Böttgerporzellan bezeichnet man erstens eine harte, schön rote oder braunrote Masse, gesintert und ohne Glasur, mitunter geschliffen und graviert, aus der Kannen, Tassen, Schalen, Krüge, plastische Darstellungen, namentlich Reliefs u. dergl. dargestellt wurden. Beim Brennen überzog sie sich in den ersten unvollkommenen Öfen oft mit einer graubraunen bis schwärzlichen Haut (Eisenporzellan), welche nach dem Wegschleifen die braune Grundmasse wieder hervortreten ließ. Diese Geschirre wurden unter Böttger selbst Jaspisware genannt, weil sie besonders in geschliffenem und poliertem Zustande dem Aussehen des Jaspis nahe kommen. Die zweite Gattung sind harte Geschirre mit einer sehr spröden dunkelbraunen und schwarzen Glasur von glasähnlicher Beschaffenheit, häufig vergoldet, aber trotzdem wenig von gewöhnlichem guten Töpfergeschirr verschieden. Diese haben offenbar mit der Erfindung Böttgers gar nichts zu thun; und wo man sie als Böttgerporzellan bezeichnet, geschieht es mit Unrecht. Endlich bezeichnet man als Böttgerporzellane noch eine Sorte von Thonwaren, die wieder aus einer dunkelroten Masse bestehen, mit einer ausgezeichnet schönen, dem japanischen Lack ähnlichen, sehr feinen Glasur überzogen und auf dem dunkelbraunen Grunde mit Vergoldung oder Versilberung, in welche die Zeichnung und Schattierung gewöhnlich mit der Nadel radiert ist. Diese letzteren Geschirre haben ihrem Wesen nach mit dem Porzellan gar nichts gemein, sie sind von erdiger Masse, ohne sinterndes Bindemittel, kleben an der Zunge, sind ungemein leicht und stellen eigentlich nur eine sehr vollkommene Terrakotte dar, bei deren Herstellung es jedenfalls auf Nachahmung der japanischen Lackwaren abgesehen war. Wie lange sie fabriziert worden sind, darüber fehlen die Nachrichten; ebenso ist der Nachweis noch nicht erbracht, daß diese Gefäße von Böttger selbst oder in seiner Werkstatt gemacht worden sind. Trotzdem muß man ihnen eine sehr große Vollkommenheit zusprechen sowohl in Bezug auf die technische Herstellung als auch hinsichtlich der künstlerischen Ausschmückung. Der letztere Umstand läßt die Ausführung in königlichen Werk-

102. Johann Friedrich Böttger.

stätten, denen sehr gute Künstler vorstanden, allerdings als annehmbar erscheinen, indessen brauchen die in Rede stehenden Erzeugnisse nicht diejenigen roten Porzellane zu sein, von deren Fabrikation die Meißener Berichte sagen, daß sie neben der weißen Ware bis gegen 1730 betrieben worden sei. Unter diesen sind jedenfalls die roten Jaspisporzellane zu verstehen.

Als nun die Erfindung 1709 so weit gediehen schien, daß man an die Nachahmung chinesischer Gefäße gehen konnte, wurde, um eine ausgedehnte Produktion zu ermöglichen, am 6. Juni 1710 die Albrechtsburg in Meißen zur Porzellanmanufaktur eingerichtet. (Die königliche Porzellanmanufaktur, welche ununterbrochen im Besitze des sächsischen Staates geblieben ist, befindet sich jetzt nicht mehr in der Albrechtsburg, sondern seit dem Herbst 1863 in neuen Fabrikgebäuden des Triebischthals bei Meißen). Böttger aber wurde, obschon reich belohnt und in den Freiherrnstand erhoben, immer noch streng bewacht, weil man sein Entweichen und einen Verrat des Geheimnisses befürchtete. Er starb nach einem ziemlich dissoluten Lebenswandel, und zwar, da er stets verschwenderisch wirtschaftete, in Armut, am 13. März 1719. So wenig erfreulich nun im ganzen auch das Bild ist, das wir uns von dem Charakter des Erfinders des Porzellans machen können, so söhnt uns doch das Werk, welches ihm seinen Ursprung verdankt, die Porzellanmanufaktur in Meißen, diese erste außerchinesische Porzellanfabrik, welche sich von Anfang an lediglich der Veredelung ihrer Fabrikate, ohne ängstliche Rücksichtnahme auf die augenblickliche Geschmacksrichtung der Menge, hingeben und künstlerischen Richtungen folgen konnte, einigermaßen wieder mit ihm aus.

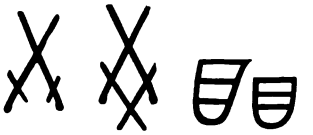
Es ist nun hier zwar keineswegs unsere Absicht, für die heutige Zeit und für alle Branchen der Industrie damit einem Prinzip der Staatsindustrie, wie es nicht nur die sächsische Regierung in betreff des Porzellans angewendet hat, sondern wie es auch von anderen Staaten bisher bei diesem Kunstzweige beliebt wurde, das Wort reden zu wollen. Vor anderthalbhundert Jahren aber waren die Verhältnisse in vielen Beziehungen noch unentwickelte, die technischen Künste, die wissenschaftlichen Hilfsmittel standen bei uns noch auf schwachen Füßen — und wenn sich unter solchen Umständen eine neue Richtung in für das Ganze förderlicher Weise Bahn brechen sollte, so konnte sie dies unbeirrt nur durch diejenigen Unterstützungen, welche damals allein noch von den Höfen ausgehen konnten.

In den ersten Zeiten waren es hauptsächlich chinesische Muster, welche die Meißener Fabrik nachzuahmen versuchte. Sie erlangte darin auch eine solche Meisterschaft, daß selbst Kenner in Zweifel geraten könnten, ob dem Original oder der Kopie der Vorzug größerer Trefflichkeit eingeräumt werden müsse. Von der Gefäßbildnerei ging man sehr bald auf die Herstellung rein plastischer Gegenstände, Büsten, Statuetten, Blumen und Tiergruppen über, welche von den ausgezeichnetsten Künstlern geformt und gemalt wurden. Dergleichen alte Erzeugnisse sind in Auffassung und künstlerischer Ausführung bewundernswürdig und werden heute mit oft viel höheren Preisen bezahlt als zur Zeit ihrer Erzeugung. Damals indessen, als das Geheimnis der Porzellanbereitung gefunden war, waren die materiellen Erträge der Fabrikation keine sehr großartigen. Es wurde fast ausschließlich für den Hof gearbeitet, und wenn man auch bemüht war, sich einen möglichst weiten Markt zu suchen, so gelang dies unter der unordentlichen Administration Böttgers doch nur mangelhaft. Im Jahre 1710 war das erste weiße Porzellan als Probe auf der Ostermesse zu Leipzig erschienen; in derselben Messe wurden für 3357 Thaler rote Geschirre abgesetzt. Von 1720 begann jedoch unter Leitung des Malers Herold die glänzende Zeit, in welcher, namentlich durch die entzückenden Gruppen des Bildhauers Kändler und durch den Vorschub, welchen das Material einer barocken, vielfach ausschweifenden Gestaltung leistete, der Rokokostil auf die Höhe seiner ornamentalen Ausbildung gelangte; die wundervollen Tierfiguren rühren ebenfalls von Kändler her. Das Personal der Fabrik war 1732 auf 378 Köpfe gestiegen. Durch den Siebenjährigen Krieg aber litt der Fortgang bedeutende Störungen, und erst nach großen Anstrengungen konnte man das Verlorene wieder einbringen. Die schönen Porzellane, welche in der darauf folgenden Periode wieder gemacht wurden, bezeichnet man gewöhnlich nach dem Grafen Marcolini, der 1774 die obere

Leitung der Fabrik übertragen erhielt. Indessen ist das technische Verdienst wohl mehr dem Hofmaler Dietrich und dem damaligen Arkanisten Holzwig zuzuschreiben.

Die ängstliche Geheimhaltung, welche mit Böttger getrieben worden war, blieb als erstes Fabrikgebot in Meißen Richtschnur. Trotzdem gelangte, wie erzählt wird, durch einen in der Porzellanbereitung eingeweihten Arbeiter die Kenntnis davon sehr bald nach Wien, wo 1720 eine Porzellanfabrik, die zweite europäische also, angelegt wurde; dieselbe wurde 1744 kaiserlich und 1794 durch die Franzosen zerstört. Von Wien aus durch den Angestellten Ringler, der im Besitz der Arkana der Fabrik war, dieselbe aber verließ, sowie durch Arbeiter, die von Meißen nach Berlin und anderwärts hingingen, gewann der neue Industriezweig bald weitere Ausbreitung. Zunächst entstanden zu Höchst a. Rh. (1740 durch Ringler in Gemeinschaft mit dem Laboranten Bengraf), bald darauf zu Ansbach und Bayreuth, später zu Fürstenberg, dann zu Berlin 1750 (Wegeli), 1754 zu Frankenthal und 1758 zu Nymphenburg bei München Fabriken, welche aber zum Teil wieder eingingen.

Die ältesten Meißener Geschirre enthalten die Buchstaben K. P. M. (Königl. Porzellanmanufaktur); sehr zeitig aber zeichnete die Fabrik ihre Produkte mit den jetzt noch gebräuchlichen und in der ganzen Welt bekannten gekreuzten Kurschwertern (s. Abb. 103), die in blauer Farbe gewöhnlich nur mit ein paar Pinselstrichen ausgeführt sind. Für den Gebrauch des Kurfürsten bestimmtes Geschirr trug die Chiffre A. R. Gegen 1720 wurden eine Zeitlang die Stichblätter der beiden Schwerter über die Mitte hinaus nach innen zu verlängert, so daß sie sich kreuzten; auch befindet sich in dem Innenraume zwischen denselben bisweilen ein kleiner Kreis oder ein Stern (Marcolini), kurz die Formen, in denen die Meißener Fabrikmarke auf den Porzellanen erscheint, ist eine sehr verschiedene, und zwar nicht nur nach der Zeit, sondern oft auch nach dem Künstler, der sie gerade auf dem Geschirr anbrachte. Die Wiener Fabrik hatte zur Marke ein dem österreichischen Wappen entnommenes Schild (s. Abb. 104), Frankenthal nahm um 1755 zum Zeichen einen springenden Löwen, den Helmschmuck der Pfalz, vertauschte denselben aber später gegen die gekrönten Buchstaben C. T. (Pfalzgraf Karl Theodor, s. Abb. 105), in blauer Farbe auf das Porzellan gemalt. Hanung, der Gründer der Fabrik (gest. 1761), führte als Marke den Anfangsbuchstaben seines Namens und ein f (Frankenthal); gewöhnlich steht daneben noch eine auf das Muster bezügliche Nummer (s. Abb. 106). Die Frankenthaler Fabrik ging 1800 ein; die Vorräte und Utensilien wurden verkauft und damit im bayrischen Rheinkreise eine Fayencefabrik errichtet.

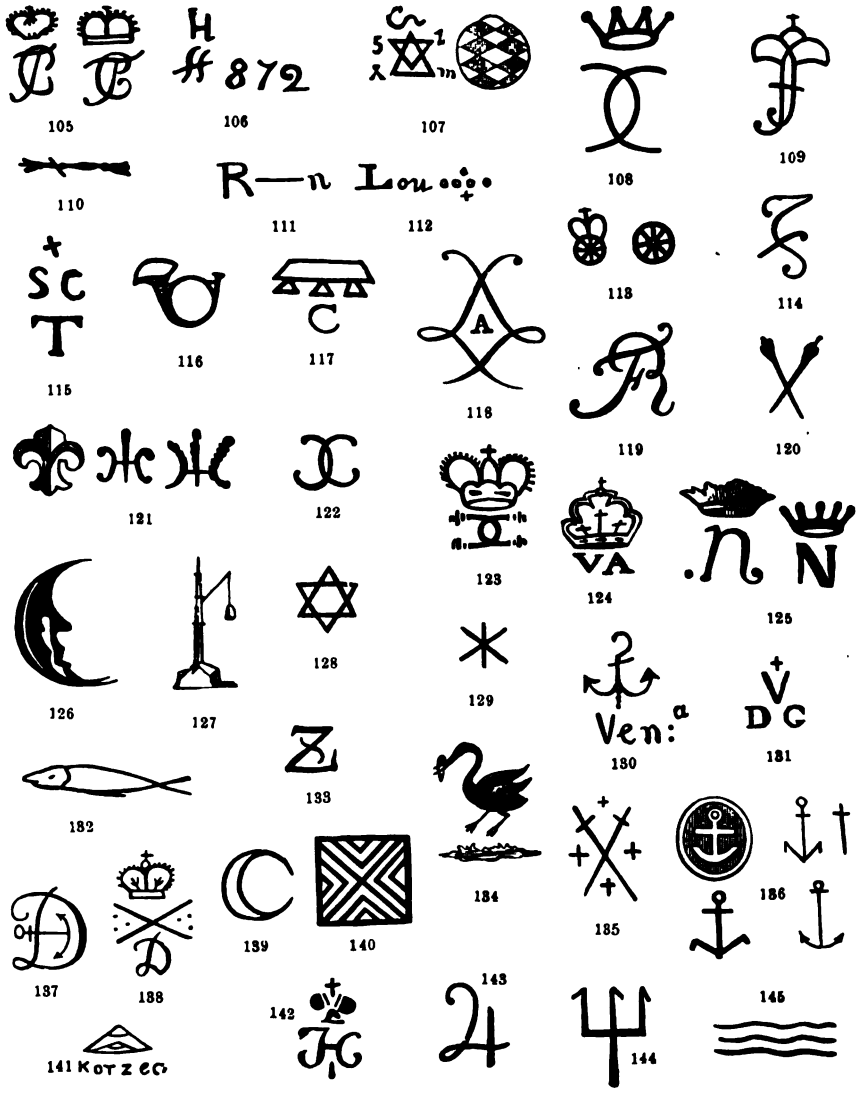


103. Meißener Porzellanmarke. 104. Wiener Marke.

Von den übrigen namhaften deutschen Porzellanfabriken sind in der Zusammenstellung auf der nächsten Seite die Marken mit enthalten, und zwar zeigt Abb. 107 zwei derselben von Nymphenburg in Bayern, die zweite davon ist das bayrische Wappen, auf altem Porzellan mittels Stempel eingepreßt; Abb. 108 die Marke der von Herzog Karl Eugen zu Ludwigsburg 1758 errichteten, 1824 aber wieder eingegangenen Fabrik.

Ein noch kürzeres Leben hatte die von dem Fürstbischof zu Fulda gegründete Fabrik, welche der großen Betriebskosten wegen schon 1780 geschlossen wurde; Marke blau (Abb. 109). Die Berliner, 1750 von Wegeli (der das Arkanum angeblich von Arbeitern der Ringlerschen Fabrik zu Höchst bei Mainz erworben hatte) gegründete Fabrik ging 1757 wieder ein, 1761 gründete der dortige Großkaufmann Gotzkowsky, der das Arkanum der Porzellanbereitung von dem in der Wegelischen Fabrik als Techniker angestellten Bildhauer Reichard gegen Zahlung von 4000 Thlr. erhielt, eine neue Fabrik, die zum Teil noch in Reichards Besitz befindlichen Warenvorräte der Wegelischen Fabrik mit übernehmend, und diese wurde 1763 nach dem Hubertusburger Frieden von Friedrich dem Großen als Staatsanstalt übernommen; seit jener Zeit ist sie ebenfalls ununterbrochen Staatsinstitut gewesen. Als erstes Zeichen hatte sie ein Zepter (s. Abb. 110), später wurde ein Adler, noch später ein Reichsapfel über den Buchstaben K. P. M. (Königl. Porzellanmanufaktur) zugefügt. Rudolstadt in Thüringen, um die Mitte des vorigen Jahrhunderts entstanden, führte ein R, blau; Ravenstein in Meiningen die in Abb. 111; Limbach, nicht weit davon entfernt liegend, die in Abb. 112 angegebene Marke; Großbreitenbach ein Kleeblatt, Weilsdorf einen bloßen Strich; Ilmenau ein L; Gotha bis zum Jahre 1802 ein R, von da ab ein G, Ansbach ein A, Gera ein G u. s. w. Die Mainzer Fabrik bei Höchst, durch den vorgenannten, aus der Wiener Fabrik entlaufenen Angestellten Ringler angelegt, ging infolge des Einfalls der Franzosen 1794 wieder ein; ihre Porzellane sind kenntlich an dem Zeichen Abb. 113, dem Wappen des ehemaligen Erzbistums, einem kleinen vergoldeten Rade; dasselbe ist bisweilen in Rot, bisweilen in Blau ausgeführt, und diese Farbenverschiedenheit bedeutet vielleicht eine Verschiedenheit der Güte oder der Fabrikationszeit. Die Porzellane der später bei Höchst von Dahl errichteten Fabrik haben zwar das alte Zeichen beibehalten, demselben aber zur näheren Bestimmung ein D beigesetzt. Fürstenberg (im Braunschweigischen) zeichnete mit einem blauen F (s. Abb. 114).

In Frankreich kam die Porzellanfabrikation erst etwa 30 Jahre später in Gang als in Deutschland. Es war zwar das Geheimnis der Bereitung, wie es von Meißen nach Wien und Frankenthal gekommen war, auch von hier den Franzosen bekannt geworden, und namentlich heißt es, daß der Gründer der Frankenthaler Fabrik, Hanung, der französischen Regierung darauf bezügliche Mitteilungen gemacht habe; aber es zeigte sich der fatale Umstand, daß in ganz Frankreich der unerläßliche Kaolin sich nicht finden wollte,



105—145. Marken der namhaftesten Fayence- und Porzellanfabriken.

während der Bezug aus anderen Ländern überall durch Ausfuhrverbote unthunlich geworden war. Die Porzellanfabriken, welche unter solchen Verhältnissen in Frankreich entstanden, konnten daher in ihren Erzeugnissen mit den deutschen Porzellanen in keiner Weise konkurrieren. Viele von ihnen gingen nach kurzem Bestande wieder ein, und die Franzosen wären wohl in Bezug auf Porzellan von anderen Ländern abhängig geblieben, wenn nicht ein besonderer Zufall ihnen hilfreich geworden wäre. Eines Tages suchte Frau Darret, die Gattin eines armen Barbiers in St. Yrieux bei Limoges, Thon, um

ihre Wäsche weiß zu machen, und fand an einem nahen Bergrücken einen weißen, speckartigen Stein, der ihr dazu passend schien. Sie übergab denselben ihrem Manne, welcher darin etwas Besseres als Walkerde zu erkennen glaubte und ihn dem Apotheker Villaris in Bordeaux zeigte; dieser riet auf Kaolin und sandte sogleich eine Probe davon an den Chemiker Macquer, welcher sie alsbald auch als solches erkannte. Man fand an dem betreffenden Orte ein reiches Kaolinlager, und der unscheinbare Stoff, welcher von einer armen Frau gefunden wurde, brachte nun die Porzellanerzeugung Frankreichs plötzlich in die Höhe. Im Jahre 1774 war die große Porzellanmanufaktur Sèvres mit der Erzeugung von echtem Porzellan in vollem Gange; sie ist jetzt noch eine der größten und bedeutendsten in der ganzen Welt, und ihre Modelle und Malereien werden als die besten und stilvollsten, die je geschaffen sind, von allen Kunstkennern bewundert.

146.
Vase von Fontenay aus der Porzellanmanufaktur Sèvres.

Als die Wiege dieser berühmten französischen Porzellanmanufaktur muß jedoch St. Cloud angesehen werden. Hier waren schon seit langer Zeit feine Töpferwaren der verschiedensten Art gefertigt worden, die an der in Abb. 115 dargestellten Marke erkennbar sind oder an einer strahlenden Sonne, welche nach 1702 angenommen wurde, nachdem Ludwig XIV. der Fabrik große Rechte verliehen hatte. Eigentliche Porzellane wurden aber in dieser Zeit hier ebensowenig gemacht wie in Rouen, woselbst schon vor 1695 feine Töpfereierzeugnisse hergestellt wurden, oder in Chantilly, wo seit 1735 eine ausgezeichnete Thonwarenfabrik bestand (Marke Abb. 116). Zu Clignancourt blühte um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ein ähnliches Etablissement, dessen Produkte das Wappen des Herzogs von Orléans, ältesten Sohnes des Königs, führten, ein auf drei Spitzen ruhendes Dach (s. Abb. 117). Lange vorher, ehe Böttger in Sachsen das Porzellan erfand, hatte man in diesen und anderen Werkstätten die Nachahmung chinesischer Geschirre versucht. Es existiert bereits aus dem Jahre 1664 ein Patent, welches einem Pariser Fayencefabrikanten Reverend erteilt wurde, um „indische Porzellane“ nachzumachen; allein, was auf diese Weise herauskam, war nichts anderes als eine feine Fayence, wie sie zu ähnlichem Zwecke Holland schon lange erzeugte. Nichtsdestoweniger bezeichnete man solche Nachahmungen als Porzellane, und namentlich gab man diesen Namen auch einer gelblichen Masse, welche von Morin schon 1695 in St. Cloud gemacht wurde, welche man aber zum Unterschiede von dem echten Porzellane (porcelaine dure) weiches Porzellan (porcelaine tendre) nannte. In der Verarbeitung derselben erlangte man eine ziemliche Vollkommenheit, besonders nachdem sich die französischen Chemiker, so der berühmte Réaumur, unter Beihilfe von Staatsmitteln und infolge des großen Interesses, welches Ludwig XIV. an der Entwickelung dieser Industrie nahm, befleißigten, ein dem orientalischen ähnliches Fabrikat zu erzeugen. So entstand das Réaumursche Porzellan, eine Art Frittenporzellan, eine mehr glasartige Masse, welche ohne Zusatz von Kaolin

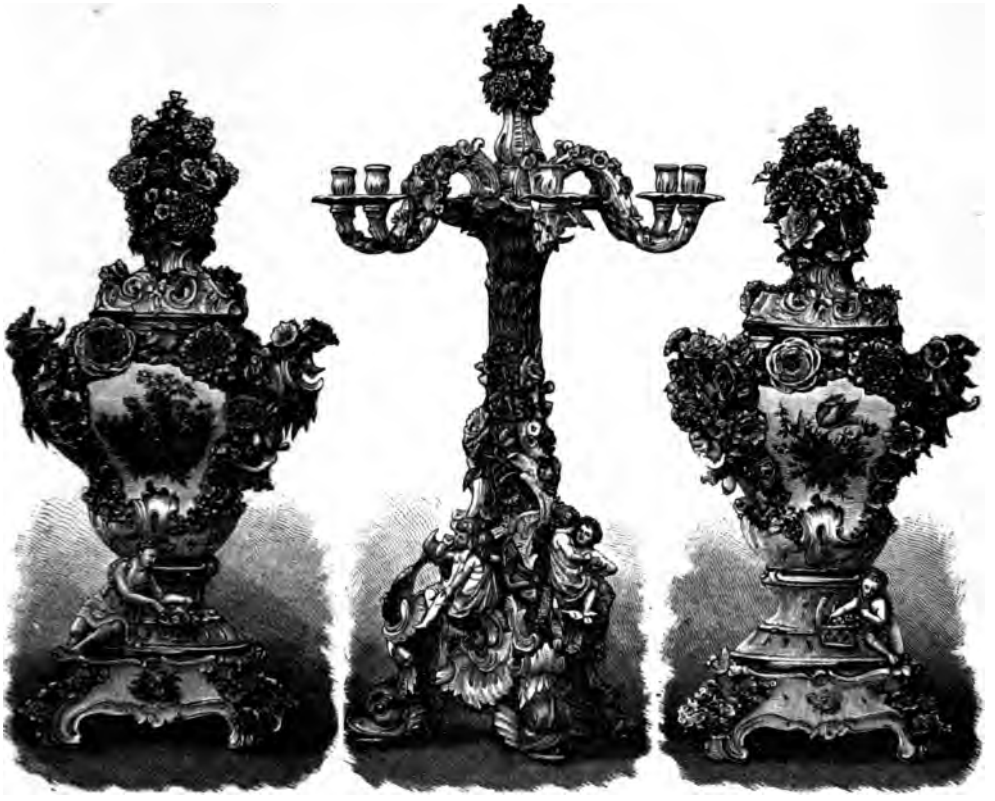
bereitet wird und mehr ein unvollſtändig geſchmolzenes oder, richtiger geſagt, ein entglaſtes Glas vorſtellt als ein wirkliches Porzellan. Die Maſſe des Frittenporzellans wird aus einem ſchmelzbaren Gemiſch von Kieſel, Alkali, Mergel und Kreide zuſammengeſetzt, fein gemahlen, mehrere Monate als Brei aufbewahrt, getrocknet, wiederum gemahlen und endlich, um ſie plaſtiſch zu machen, mit Seifen- oder Leimwaſſer verſetzt. Das Brennen geſchieht in Kapſeln; dabei verzieht ſich indeſſen die Maſſe leicht, da eine viel geringere Hitze ſchon genügt, um ſie gar zu brennen, als für das harte Porzellan. Als Glaſur dient ein ſehr bleihaltiges Glas.

147. Große Porzellanvaſe aus der Meißener Fabrik.

Als nun in Sachſen das echte Porzellan erfunden worden war, verdoppelten ſich natürlich die Anſtrengungen auch in Frankreich. Man verſuchte die von Deutſchland erlangten Rezepte auszuführen, da aber das Rohmaterial fehlte, ſo konnte man zu keinen Reſultaten gelangen. Die Fabrik von St. Cloud wurde 1752 nach Sèvres verlegt, nachdem ſich der König mit einem Drittell Kapital an derſelben beteiligt hatte, und nahm nun den Titel Manufacture royale an. Sie fabrizierte immer noch ausſchließlich porcelaine tendre. Nachdem man aber 1765 die Porzellanerde bei Limoges entdeckt hatte, wurden Anſtalten getroffen, neben dem Frittenporzellan auch wirkliches hartes Porzellan darzuſtellen, und von 1769 an — alſo 60 Jahre ſpäter als in Meißen und faſt 20 Jahre ſpäter als in Berlin — wurden in Sèvres beide Arten nebeneinander fabriziert. Dies dauerte bis in das 19. Jahrhundert hinein; erſt da, unter Brogniarts Leitung der Fabrik, fing die harte Maſſe des echten Porzellans an, die pâte tendre zu verdrängen. Die Erzeugniſſe der Fabrik von Sèvres tragen als Marke ein doppeltes L (Louis); von 1753 an wurde in den Innenraum dieſes Monogramms jedes Jahr ein neuer Buchſtabe, von A an das ganze Alphabet durch, geſetzt (ſ. Abb. 118), ſo daß 1776 das Z erreicht war; im Jahre 1777 fing das Alphabet wieder von vorn an, aber die Buchſtaben wurden doppelt genommen, und die Porzellane, welche mit RR bezeichnet ſind, gehören demnach dem Jahre 1794 an. Von dieſem Jahre an wechſelte die Marke mit der in Abb. 119 abgebildeten (République Française), 1800—1804 verſchwand auch dieſe, und die Buchſtaben M. NLE (Manufacture nationale) mit dem Worte SÈVRES traten an ihre Stelle; 1804 wurde das Nationale durch IMPLE (Imperiale) erſetzt, und von 1810—1814 florierte der napoleoniſche gekrönte Adler als Zeichen. Später nahm Ludwig XVIII. wieder den alten Namenszug an mit einer Lilie in der Mitte, Karl X. den ſeinigen unter einer Krone, dem entſprechend Louis Philipp; die Republik von 1848—50 aber nahm die Marke S mit der Jahreszahl. Der ſchon erwähnte Hanung oder Hannong errichtete im letzten Viertel des 18. Jahrhunderts auch zu Paris eine Fabrik, welche mit H ſignierte; aus derſelben Zeit ſtammen noch die Marken M. A. P. von Morelle, S von Souroup,

zwei sich kreuzende Pfeile (s. Abb. 120) von Locre (1773), ein gekröntes A mit einer roten Lilie von Le Boeuf (1780—93); ferner sind zu nennen die Fabriken von Lamarre, Leboeuf, Chanon (1784) Potter (1790) in Paris und die Fabriken zu Lille (1785), welche zuerst in Frankreich Steinkohlen zum Brennen von Porzellan verwendete, zu Belleville und zu Niderviller. Gegenwärtig ist die Porzellanfabrikation in Frankreich ein sehr ausgedehnter und zu hoher Vollkommenheit entwickelter Industriezweig, dessen Hauptsitze Paris und Limoges sind.

In Spanien gründete König Karl III. 1759 bei Madrid in den Gärten seines Palastes Il Buen Retiro eine Fabrik, deren Produkte teils durch Lilien, wie deren drei in Abb. 121 angegeben sind, teils durch zwei verschlungene C (s. Abb. 122) bezeichnet



148—150. Vasen und Leuchter aus der königlichen Porzellanmanufaktur zu Meißen.

sind. Der letztere Namenszug hat manchmal eine Krone, und die Buchstaben sind dann gewöhnlich verzerrt, wie es Abb. 123 angibt. Derselbe Monarch hatte früher schon in Neapel eine Fabrik gegründet, deren mit gemalten Reliefs verzierte Erzeugnisse unter dem Namen „Capo di Monte-Porzellane" von Sammlern hoch bezahlt werden (Marke Abb. 125). Die Zeichen Abb. 126 und 127 kommen neapolitanischen Porzellanen aus anderen Fabriken zu, welche ebenfalls in der letzten Hälfte des 18. Jahrhunderts arbeiteten. Doccia in Toscana führte entweder das Zeichen Abb. 128 oder einen Stern (s. Abb. 129), ähnlich der Marke von Lenove in der Lombardei (blau oder rot). Das alte Venezianer Porzellan hat einen großen roten Anker (s. Abb. 130), Vieneuf in Piemont (1750 gegründet) ein Kreuz mit den Anfangsbuchstaben des Ortes und Gründers Dr. Giovanetti (s. Abb. 131). Vista bei Oporto führte die Marke Abb. 124.

Aus der Schweiz sind vorzüglich zwei Marken bemerkenswert: ein Fisch (s. Abb. 132) auf dem Porzellan von Nyon im Kanton Waadt und ein blaues Z (s. Abb. 133) auf dem um die Mitte des vorigen Jahrhunderts in Zürich gefertigten Porzellan.

In Holland entstanden während des Siebenjährigen Krieges Porzellanfabriken; von ihnen ist namentlich die im Haag und die Amsterdamer bekannt. Die letztere hat ein A als Zeichen, die erstere (1778 errichtet) die in blauer Farbe roh ausgeführte Zeichnung eines Storches, der entweder auf einem Beine steht, oder mit einem Frosch im Schnabel auffliegt (s. Abb. 134); Doornik oder Tournai (1750—1800) führte zwei gekreuzte Schwerter mit vier kleinen Sternchen dazwischen (s. Abb. 135).

In England fand die Porzellanfabrikation infolge der hochentwickelten Steingutfabrikation schon frühzeitig einen günstigen Boden, und in den Fabriken von Bow und Chelsea, welche vor 1750 errichtet worden sind, wurden ausgezeichnete Werke hervorgebracht. Das Bower Porzellan ist jetzt sehr selten und wird mit enormen Preisen bezahlt; kenntlich ist es an einer Biene, die entweder nur darauf gemalt oder so modelliert ist, als ob sie auf dem Porzellan säße. Das Chelseaporzellan hat, wenn es überhaupt mit einem Fabrikzeichen versehen ist, einen Anker, der, gewöhnlich ziemlich roh und mit roter Farbe gemalt, nur bei ganz feiner Ware, wie der letzte der in Abb. 136 abgebildeten, in zarten Goldstrichen ausgeführt ist. Als die Fabrik in Chelsea um 1751 einging, siedelten die besten ihrer Arbeiter nach Derby über, wo bereits 1751 eine Porzellanfabrik gegründet worden war. Dadurch kam der Anker als Marke nach Derby und wurde in dem D, wahrscheinlich dem früheren Zeichen der Fabrik, angebracht (s. Abb. 137). Später, unter Georg III., als das Derbyporzellan großen Ruf erlangt hatte, wurden zwei gekreuzte Schwerter mit einer Krone und dem Buchstaben D zur Bezeichnung gebraucht (s. Abb. 138). Beide Marken sind entweder in Hochrot oder in Violett, bei sehr feinen Porzellanen auch in Gold ausgeführt. Worcester, gleichzeitig mit der Fabrik Derby errichtet, exzellierte hauptsächlich in der Nachahmung japanischer und chinesischer Porzellane und benutzte auch derartige Marken; als eigentümliches Zeichen aber diente ein halber Mond, in Blau unter die Glasur gemalt, bisweilen auch ein W und später eine schachbrettartige Zeichnung (s. Abb. 139 und 140). Plymouth wurde um 1760 von Cookworthy errichtet; wahrscheinlich haben die naheliegenden reichen Zinnlagerstätten die Veranlassung gegeben, dieselbe Marke (s. Abb. 143) zu wählen, welche als Zinnstempel dient. Der unter Abb. 144 abgebildete Dreizack, rot und bisweilen mit dem Namen Swansea verbunden, ist das Zeichen für die 1750 gegründete Porzellanfabrik gleichen Namens; Bristol hat ein blaues Kreuz, Leeds signiert durch eine Pfeilspitze und mittels der Buchstaben G G, Rockingham durch einen Greif; das alte Shropshireporzellan führt den Buchstaben S; Wedgwood bezeichnete seine Waren mit seinem vollen Namen, manchmal in Verbindung mit dem seines Teilhabers Bentley.

Führen wir nun noch an, daß die kaiserliche Porzellanfabrik in Petersburg in der Regel den Namenszug des herrschenden Regenten mit der russischen Krone als Zeichen trägt, z. B. das Porzellan aus der Zeit Katharinas II. das Zeichen Abb. 142, ferner daß Abb. 141 die Marke der polnischen Fabrik Korzec darstellt, und daß die königliche Fabrik in Kopenhagen (seit 1775) drei wellenförmige Linien, den Sund, Großen und Kleinen Belt bedeutend, führt (s. Abb. 145), so dürften wir damit die Aufzählung der bedeutendsten und in der Geschichte des Porzellans interessantesten europäischen Fabriken beendet haben. Bedauern müssen wir bei diesem Rückblick, daß einige derjenigen Fabriken, denen die künstlerische Pflege des Gewerbes besonders anvertraut schien, Wien und Nymphenburg z. B., entweder ganz eingegangen oder zu gewöhnlichem Krämerbetriebe herabgesunken sind.

Unter den Porzellanfabriken, welche zu allen Zeiten ihres Bestehens sich ihren Ruhm bewahrt haben, stehen die zu Meißen, Berlin und Sèvres obenan, sowohl was die Güte des Materials anbelangt als hinsichtlich der Vortrefflichkeit der Form und Vollendung der künstlerischen Ausführung, Malerei und Vergoldung; neben ihnen dürften die englischen Fabriken von Worcester und diejenigen von Mintons einen hohen Rang beanspruchen.

Sèvres, dessen Porzellanfabrik unter den Direktoren Techniker und Gelehrte wie Brogniart, Regnault, Ebelmen und Deck hatte, ist immer durch seine zarten Farben berühmt gewesen, deren Geheimnis sich noch aus der Periode der pâte tendre

herschreibt und die der geschmackvolle Sinn der Franzosen zu reizenden Effekten zu verwerten weiß.

Berlin, welches früher mehr durch strenge Formen und durch solide, mitunter etwas nüchterne technische Ausführung, namentlich in Bezug auf die Färbung seiner Porzellane wirkte, ist in neuerer Zeit mit ganz hervorragenden Leistungen ans Licht getreten. Hier war es, wo der ausgezeichnete Prof. Dr. Hermann Seger durch seine bahnbrechenden, lichtvollen Arbeiten den Grund zu dem wissenschaftlichen Ausbau der neuzeitigen keramischen Chemie legte, die Untersuchung der Thone, Massen und Glasuren in für die Technik nutzbringende Bahnen lenkte und zu Anfang der achtziger Jahre eine neue Spezies von Porzellanen, die nur aus Thonsubstanz, Quarz und Feldspat bestehenden, leichtflüssigen Weichporzellane, einführte. Da diese sehr flußmittelreichen Porzellane nur arm an Thonsubstanz sein konnten, so mußte die letztere einem möglichst plastischen fetten weißbrennenden Steingutthon entnommen werden, als welchen Seger vorzugsweise den Löthainer Steingutthon aus der Nähe von Meißen verwendete. Das mit großem Erfolg von der Königlichen Berliner Manufaktur hergestellte und nach seinem Erfinder „Segerporzellan" benannte Fabrikat zeichnete sich dadurch vor den flußmittelarmen älteren Hartporzellanen aus, daß es bei weit niederer Temperatur gar gebrannt und daher mit weit mannigfacherem farbigen Scharffeuerdekor versehen werden konnte. So gelangte Seger dazu, die bisher nur den orientalischen Porzellanen eigentümlichen Farben auf das neue Produkt zu übertragen; er that dies aber nicht in imitatorischer Art, sondern in einer Weise, welche dem Segerporzellan durchaus den Stempel der Originalität aufdrückte. Es gelang ihm nicht allein, die grüne Seladonglasur und das Kupferoxydulrot oder Sang de boeuf der Chinesen nachzubilden, sondern er fügte diesen Tönungen noch eine ganze Reihe neuer Effekte hinzu; ich nenne vor allen Dingen die eierpflaumengelbe Uranglasur und das in einer großen Mannigfaltigkeit der Schattierungen ausgebildete pfirsichblütenfarbene Pinkrot. Mit besonderer Meisterschaft beherrschte er aber die Kupferoxydulglasur und ihre bald ins Grünlich-Blaue, bald ins Violette spielenden Übergänge, und wenn auch fast gleichzeitig mit ihm Bünzli, Salvétat und Deck versuchsweise einzelne Stücke in dieser Farbe dargestellt hatten, so gebührt Seger doch vor allen Dingen das Verdienst, die Entstehungsursachen dieses Farbtones so gründlich studiert und klargelegt zu haben, daß er allein im stande war, auf Grund seiner Studien eine sichere Fabrikation zu gründen und sie mit Erfolg durchzuführen. Mit dem Segerporzellan war der Grund für alle weiteren, nur aus Thonsubstanz, Quarz und Feldspat bestehenden sogenannten natürlichen Weichporzellane gelegt, und eine ganze Anzahl hervorragender Kunstinstitute, so z. B. auch Sèvres in Frankreich, hat mit mehr oder weniger Erfolg diese Technik aufgenommen. Auch das Steingut wußte Seger, der in künstlerischer Hinsicht von dem hervorragenden Maler Prof. Timm wirksam unterstützt wurde, durch eine große Reihe neuer dekorativer Techniken

151. Hermann Seger.

und durch die vordem nicht bekannten bleifreien Barytglasuren neu zu beleben. Der höchste Ruhm Segers bestand aber darin, daß er wie keiner vor ihm den Aufbau der Massen, Glasuren und Farben systematisch und spekulativ entwickelte und dadurch jüngere Kräfte heranzubilden verstand, welche erfolgreich in seinen Bahnen zu wandeln vermögen. So wenig uns die Gestalt Böttgers in ihren menschlichen Eigenschaften anmutet, so sehr müssen wir zu der Erscheinung Hermann Segers, des bescheidenen, selbstlosen und doch so zielbewußten Forschers, mit Genugthuung und Bewunderung aufblicken. Mit seinem Heimgange 1893 hat nicht nur die deutsche, sondern überhaupt die weitverzweigte Keramik der ganzen Welt ihren größten Meister verloren, aber es steht fest, daß seine Saat aufgehen und der gesamten Kunsttöpferei ein neues verheißungsvolles Morgenrot erstrahlen wird.

Die Rohmaterialien der Thonwaren-Industrie.

Zur Herstellung von Thonwaren dient in erster Linie der Thon; je nach seinen Eigenschaften und dem Charakter der Waren entsprechend wird er ohne oder mit Zuschlagsmitteln verarbeitet. Diese letzteren können entweder dazu dienen, die Schmelzbarkeit des Thones herbeizuführen, oder sie werden zugesetzt, um bei zu fetten Thonen eine Magerung herbeizuführen und dadurch die der Verarbeitung nicht immer günstigen physikalischen Eigenschaften der Thone zu verbessern. Solche Zuschlagsmittel — Fluß- oder Magerungsmittel — sind kohlensaurer Kalk in Form von Kalkspat, Kreide oder Marmor, Sand, Feuerstein, Feldspat, gebrannter Thon, Kohlenklein, Kohlengrus, Torf, Sägespäne und dergleichen.

Alle Thone sind durch Verwitterung entstanden. Sie gehören daher nicht zu denjenigen Stoffen, die, obwohl sie einen wesentlichen Bestandteil unserer jetzigen Erdrinde ausmachen, bei der ursprünglichen Bildung derselben mitgewirkt haben. Sie sind vielmehr erst nachträglich durch jahrtausendelange Einwirkung von Wasser und Luft (Sauerstoff und Kohlensäure) unter der Mitwirkung von Kälte und Wärme durch den sogenannten Verwitterungsprozeß aus gewissen Urgesteinen, die der Feldspatgruppe angehören und thonerdehaltige Felsmassen darstellen, entstanden. Von den feldspatführenden Gesteinen treten namentlich die granitischen, welche als die Hauptmasse der Gebirge vorherrschend sind, daneben Gneis und Porphyr in den Vordergrund.

Je nach Art des Muttergesteines und den die Verwitterung begleitenden Umständen ist das Endprodukt dieses Prozesses, jene formbare Materie, die wir mit dem Sammelbegriff „Thon“ bezeichnen, mit in physikalischem und chemischem Sinne so gänzlich verschiedenen Eigenschaften ausgestattet, daß es dem Unerfahrenen fast unmöglich ist, die einzelnen für die verschiedenen Arten von Thonwaren-Erzeugnissen zu verwendenden und diesen ihre Eigenart gebenden thonigen Gebilde: die Schieferthone der Steinkohlenformation, die Kaoline oder Porzellanerden, die plastischen Pfeifenthone, die Braunkohlenthone, die Töpferthone, den Ziegellehm und die Thonmergel als zugehörig zu einander zu erkennen. Und dennoch ist der edelsten Porzellanvase und dem unscheinbarsten Ziegelstein derselbe Grundstoff zu eigen, die kieselsaure Thonerde, welche den wesentlichsten Bestandteil aller reinen und unreinen Thone ausmacht. Je nachdem der Verwitterungsprozeß der feldspathaltigen Muttergesteine ein mehr oder weniger vollkommener gewesen ist und Einflüsse sekundärer Natur beeinflussend mitgewirkt haben, so namentlich Infiltrationen fremder Stoffe während der Dislokation und Ablagerung der Thone in den Thalsenkungen, entsteht ein reiner oder unreiner Thon. Wir haben uns den Vorgang der Verwitterung in der Art zu denken, daß die von der Sonne ausgetrockneten feldspathaltigen Gesteine die feuchten Niederschläge — Tau und Regen — begierig einsaugen und, sobald Frost eintritt, durch die dabei stattfindende Ausdehnung des Wassers, welche durch die Bildung von Eiskrystallen verursacht wird, der feste Zusammenhang ihrer von Eiskrystallen angefüllten Poren gelockert wird. Dieser sich oftmals wiederholende Prozeß zerstört die Festigkeit des Gefüges des Muttergesteins immer mehr, die Felsen werden zerklüftet, sie stürzen ab, werden von der lebendigen Kraft der brausenden Gebirgsbäche mit fortgerissen, in ihrem Strudel

zermalmt und auf dem Wege zu Thal zu staubfeinen Partikelchen zermahlen. Neben diesen die Zerstörung auf mechanischem Wege bewirkenden Kräften vollenden chemische Prozesse das Verwandlungswerk des Feldspats in Thon vollständig, indem das Wasser und die in ihm gelöste Kohlensäure die Alkalien des Feldspats in lösliche Karbonate überführen und mit ihnen einen Teil der Kieselsäure auslaugen. Da der chemische und mechanische Prozeß stets nebeneinander herlaufen, so werden die durch Zerreibung entstandenen, durch Wasser fortgeführten und aufgeschlossenen und in den Thalmulden abgelagerten Zersetzungsprodukte sehr selten völlig reine kieselsaure Thonerde d. h. Thone in reinster Form vorstellen, sondern viel häufiger mit eingeschlämmten, mechanisch mitgeführten unaufgeschlossenen Mineralien durchsetzt und neben Sand in allen Korngrößen durch fremde ungelöste Beimengungen (Infiltrationen, Accessorien) wie Kalk, Magnesia, Eisenoxyd u. dergl. verunreinigt sein.

Daher kommt es, daß das Verwitterungsprodukt, welches wir Thon nennen, in seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften ein so außerordentlich wechselndes Bild zeigt, daß wir magere und fette, unbildsame und bildsame, wenig bindende und stark bindende, wenig schwindende und stark schwindende Thone, solche die in Wasser leicht und solche die in Wasser schwer erweichen, daß wir gelb- und rotbrennende, schwer schmelzbare (feuerfeste) und leicht schmelzbare Thone kennen. Ja im bunten Wechsel ihrer Eigenschaften weisen dieselben eine Vielseitigkeit auf, daß es des eingehenden Studiums und jahrelanger Beobachtung bedarf, um, wenn sie in der Werkstatt des Menschen erfolgreich verwertet werden sollen, immer Herr ihrer koboldartigen Launen zu werden.

Je nach dem Vorkommen der Thone unterscheidet man solche auf *primärer* und sekundärer Lagerstätte oder jüngere Thonablagerungen. Befindet sich der Thon noch auf seiner ursprünglichen Bildungsstätte im Urgebirge, so hat man es mit einer *primären* Ablagerung zu thun. Hierher gehören die meisten Kaoline oder Porzellanerden, englisch China Clay, die in ihrer reinsten Form annähernd reine kieselsaure Thonerden sind, d. h. auf ein Molekül Thonerde 2 Moleküle Kieselsäure und 2 Moleküle Wasser enthalten und nur geringe Spuren von Eisenoxyd, Kalk, Magnesia und Alkalien aufweisen. Oft enthalten die auf primärer Lagerstätte stehenden Kaoline aber noch erhebliche Mengen von unverwittertem Feldspat und von nicht fortgeschlämmtem Quarz und Glimmer und zeigen ganz die Struktur des Gesteines, aus dem sie hervorgegangen sind. Die Kaoline, welche zur Herstellung von Porzellan und Steingut dienen sollen, müssen völlig eisenfrei sein und sich weiß brennen. Je mehr Eisenoxyd ein Thon enthält, desto mehr sind die aus ihm hergestellten Gegenstände gelb oder rot gefärbt. Mit Wasser zu einem Brei angemacht, bilden die Kaoline meist kurze, wenig bildsame Massen.

Wird der Thon durch die Einflüsse der Witterung von seiner ursprünglichen Bildungsstätte fortgeschwemmt, thalabwärts geführt und an Stellen, in denen das Wasser zur Ruhe kommt, wieder abgelagert, so bezeichnet man das Vorkommen als *sekundäres* oder sedimentäres. Bei dieser Ortsveränderung kann der Thon entweder einen Reinigungsprozeß, d. h. einen natürlichen Schlämmprozeß durchmachen, indem die noch unzersetzten gröberen Mineraltrümmer weniger schnell mit fortgerissen werden oder sich bei der Ablagerung in den Thalmulden schneller zu Boden setzen und sich daher von der sich schwer absetzenden Masse des Thones trennen, oder der Thon kann durch eingeschlämmte fremde Körper, während er sich absetzt, verunreinigt und entwertet werden. Die auf die erste Weise entstandenen Thone sind von großer Reinheit und Feinheit des Korns, sie finden sich in ungemein mächtigen Ablagerungen als Entstehungsprodukte ganz verschiedenen Alters zwischen Steinkohlen- und Braunkohlenflözen, über oder unter der Kohlenschicht lagernd, meistens von Beimengungen derselben (häufig auch von Schwefelkies) aufs innigste durchdrungen und infolge des Druckes der überlagernden Erdschichten stark verdichtet. Diese Thone, obwohl in ungebranntem Zustand grau oder braun, oft schwarz gefärbt, zeigen nach dem Brennen meist eine fast weiße, hellbraune oder wenig gelbliche Farbe, besitzen einen außerordentlich hohen Schmelzpunkt oder, wie man sich in der Technik ausdrückt, sind von erheblicher „Feuerfestigkeit“ und bilden, da sie nach dem Anmachen mit Wasser

häufig sehr bildsam sind und sich beim Brennen stark verdichten, das gesuchteste Rohmaterial für die Herstellung der feuerfesten oder Chamottewaren. In der Technik nennt man diese Thone kurzweg „feuerfeste Thone". Eine besondere Gattung der feuerfesten Thone sind die Schieferthone oder Thonschiefer, Produkte von oft steinartiger Härte, spaltbar, blättrig und von feinem Korn; sie sind als regenerierte Thone aufzufassen und kommen, geschichtet oder massig, als Folge lange Zeit andauernder ununterbrochener Absätze, häufig in mächtigen Ablagerungen vor. Mit Wasser angemacht zeigen sie sich meistens wenig plastisch, geben aber ihrer vorzüglichen Feuerfestigkeit wegen in gebranntem Zustande ein vielbegehrtes und gesuchtes Rohprodukt für die Herstellung schwer schmelzbarer Chamottesteine ab.

Tritt der andere Fall ein, daß die Thone auf ihrem Wege zu Thal oder während des Absetzens durch Einmischen fremder Mineralien z. B. durch Sand, Glimmer, Feldspattrümmer, kalk- und eisenhaltige Mineralien u. a. m. verunreinigt werden, so werden die Thone je nach der Art und Menge der sie verunreinigenden Accessorien leichtflüssiger. Der Gehalt an reiner kieselsaurer Thonerde, welcher die Schwerschmelzbarkeit der Thone bedingt, tritt mehr oder weniger zurück gegen die einfiltrierten Stoffe, und wir erhalten die sogenannten schmelzbaren Thone. Dieselben treten nicht nur als sekundäre sondern auch als tertiäre und noch jüngere ins Diluvium und Alluvium hineinreichende Bildungen auf. Aber auch diese Naturprodukte sind dem Menschen willkommene Funde, sie geben das Rohmaterial für die Töpfereien und für die Ziegelfabrikate ab und sind somit von hohem volkswirtschaftlichen Nutzen. Die Töpferthone und die noch flußmittelreicheren, leichter schmelzbaren Ziegelmergel und Lehme unterscheiden sich schon äußerlich von den vorher aufgezählten Gattungen, da sie infolge eines meist beträchtlichen Gehaltes an Eisenverbindungen vom Gelbgrün bis zum Rotbraun oder bei größerem Gehalt an organischen Substanzen ins Bläuliche variieren. Beim Brennen färben sie sich hellgelb, dunkelgelb, hellrot, dunkelrot, braun, ja dunkelgrau und schwarz, wobei die namentlich beim Brennen außerdem noch in Erscheinung tretenden Eigenschaften für ihre Verwendungsweise maßgebend sind. Das Vorkommen dieser Thone überwiegt der Menge nach das Auftreten der reinen Thone ganz erheblich, und fast die ganze norddeutsche Tiefebene ist mit Ablagerungen dieser Thone ausgestattet.

Die Gewinnung der Thone geschieht bei den Kaolinen, den Steinkohlen- und Braunkohlenthonen bergmännisch, wobei mit letzteren zugleich die Kohle mitgefördert wird, oder durch Reifenschachtbetrieb, indem man mit kreisrunden, mit Holzreifen ausgekleideten Schächten niedergeht und den Schacht nach unten trichterartig erweitert, solange er nicht einzustürzen droht — ein Raubbau, der im Nassauischen vielfach noch jetzt gebräuchlich ist — oder der Thon wird im Tagebau nach Beseitigung des Abraumes in offenen terrassenartig abfallenden Gruben abgebaut; diese letztere Gewinnungsart kommt bei allen jenen Thonen in Anwendung, welche nicht tief unter der Humusschicht liegen, bei denen also die Beseitigung des Abraumes ohne große Kosten bewerkstelligt werden kann.

Für die Verarbeitung der Thone sind nicht allein ihre Brennfarbe und ihr Schmelzpunkt bestimmend, sondern mehr noch andere Eigenschaften, vor allen Dingen ihr Verhalten in ungebranntem Zustande während der Formgebung und beim Trocknen. Die wertvollste Eigenschaft der ungebrannten Thone ist die Fähigkeit, sich mit Wasser zu einem bildsamen Brei anmachen zu lassen und die gewünschte Form anzunehmen und beizubehalten. Diese Bildsamkeit der Thone ist in ihren Ursachen bisher noch wenig ergründet; sie wird nicht etwa immer von der Menge des im Thone vorhandenen Sandes beeinflußt, ja es kommen sandreiche Thone vor, welche unter Umständen plastischer sind als sandfreie Thone. Meistens läßt sich die Bildsamkeit, Plastizität oder Fettigkeit der Thone mit der Dichtigkeit, welche die Thone nach dem Trocknen besitzen, und mit der Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, in Einklang bringen, so daß man im allgemeinen sagen kann: je dichter das Gefüge eines Thones nach dem Trocknen ist und je weniger Wasser er zu binden vermag, desto plastischer ist er. Aber es kommen auch dabei Abweichungen vor, namentlich bezüglich der Wasseraufnahmefähigkeit.

Beim Trocknen verdunstet das zur Formgebung dem Thon einverleibte Wasser, und er zieht sich zusammen, oder wie es in der Technik heißt: „der Thon schwindet"; diese Schwindung nimmt während des Brennens noch zu, und für die Verarbeitung eines Thones ist es von Vorteil, daß sowohl die Schwindung beim Trocknen (Trockenschwindung) als die Schwindung beim Brennen (Feuerschwindung) nicht zu groß ist, weil die aus dem Thon geformten Gegenstände um so eher zu Deformationen neigen, je stärker sie schwinden. Einer zu großen Schwindung kann man durch Zusatz nicht schwindender Substanzen wie Sand, gebrannte Thonscherben u. dergl. entgegenwirken. Beim Schwinden verdichtet sich der Thon, die einzelnen Teilchen nähern sich unter dem Einfluß des Brandes mehr und mehr, bis bei einem gewissen Hitzegrade alle Poren geschlossen sind; dabei nimmt der Thon ein festes Gefüge an, er wird undurchlässig und zeigt beim Zerschlagen einen dichten, muscheligen Bruch. In der Technik sagt man: „der Thon sintert". Der Prozeß der Sinterung ist beendet, sobald sich die Poren völlig geschlossen haben; in diesem Zeitpunkt hat der Thon seine größte Schwindung erreicht. Wird die Erhitzung über diesen Zustand hinaus fortgesetzt, so dehnt sich der Thon früher oder später wieder aus; es sind aber Fälle bekannt, in denen der Thon im gesinterten Zustande lange verharrt, ohne sich auszudehnen oder zu schmelzen. Es trifft aber nicht zu, daß der Thon sich infolge großer Hitze nicht ausdehne, es kommt vielmehr nur darauf an, die Hitze hoch genug zu treiben, damit die Ausdehnungsfähigkeit des Thones in Erscheinung treten kann. Mit dieser Ausdehnung des Thones leitet sich meistens der Schmelzprozeß ein. Von großem Wert ist es, daß beim Brennen der Thone der Sinterungsprozeß langsam verläuft und Sinterungspunkt und Schmelzpunkt weit auseinander liegen, denn je mehr man sich dem Schmelzpunkt der Thone nähert, desto weicher und beweglicher wird er im Feuer, und desto schwerer lassen sich die Formen der Thongefäße beim Brennen erhalten.

Einteilung der Thonwarenfabrikate. Die Thonwarenfabrikate lassen sich in zwei große Klassen einteilen, man unterscheidet nämlich:

I. Thonwaren mit nicht geschlossenem, saugendem Scherben (Thonzeug).

II. Thonwaren mit dichtem, gesintertem undurchlässigen Scherben (Sinterzeug).

In diese beiden Klassen reihen sich die Fabrikate in folgender Weise ein:

I. Thonwaren mit saugendem Scherben, Bruch: erdig (Thonzeug).

1. Der Scherben ist wenig klingend und
   a) leichtflüssig: Ziegelfabrikate,
   b) schwerflüssig: Feuerfeste Fabrikate.
2. Der Scherben ist ziemlich klingend und
   c) von gelblicher oder rötlicher Farbe, unglasiert oder mit durchsichtiger oder undurchsichtiger Glasur versehen — Töpferwaren (gewöhnliche Fayencen, unglasiert als Terrakotten und Siderolithwaren),
   d) von weißem oder nahezu weißem Aussehen oder künstlich gefärbt; dabei von ziemlicher Schwerflüssigkeit (Steingut oder feine Fayence).

II. Thonwaren mit dichtem Scherben, Bruch muschelig (Sinterzeug).

1. Der Scherben ist meistens nicht weiß und nicht oder fast gar nicht durchscheinend.
   a) unglasiert — Wedgwood, Klinker u. dergl.
   b) glasiert — Steinzeug,
2. Der Scherben ist weiß (oder künstlich gefärbt) und durchscheinend, glasiert oder unglasiert.
   a) der Scherben ist schwer schmelzbar — Hartporzellan,
   b) der Scherben ist leichter schmelzbar — Weichporzellan,
   c) der Scherben ist unglasiert — Biskuitporzellan.

Die Herstellung der Thonwaren.

I. Poröse Thonwaren.

Nach ihrer Verwendungsart unterscheiden wir Ziegel, welche als Bausteine zur Errichtung unserer Wohnhäuser dienen, und solche, welche in Industriehütten für Feuerungsanlagen verwandt werden. Die ersteren müssen in erster Linie den Einflüssen der Atmosphäre widerstehen, also wetterbeständig oder wetterfest, die letzteren ohne Schädigung hohe Hitzegrade ertragen, also feuerbeständig oder feuerfest sein. Wir betrachten zunächst die erste Gruppe der Ziegel, welche für gewöhnlich „Mauerziegel" genannt werden.

1. Mauerziegel.

Die Erzeugung von künstlichen Bausteinen, welche fast von allen, selbst den unkultiviertesten Völkern betrieben wird, ist uralt, und wir besitzen, wie in der Einleitung bereits erwähnt, schon an ägyptischen Bauwerken Darstellungen dieser Fabrikation der Alten und in der Bibel schriftliche Zeugnisse, daß dieselben in frühen Zeiten von den Israeliten gefertigt wurden. Bei den Alten geschah die Herrichtung der Ziegel wie bei unseren Altvordern lediglich durch Einstreichen derselben in hölzerne Formen mit der Hand, eine Fabrikationsweise, die auch bei uns bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts hinein die ausschließlich gebräuchliche war und sich auch zur Zeit noch an manchen Orten neben der Anfertigung durch Maschinen erhalten hat.

Bevor der Thon verziegelt werden kann, ist es nötig, ihn sachgemäß aufzubereiten. Ist der Thon von schwer aufweichbaren Klümpchen, Schieferstückchen, Letten u. dergl. durchsetzt, oder läßt er sich mit Wasser schwer aufweichen, so sucht man ihn durch Wintern oder Sommern aufzuschließen. Dies geschieht in der Weise, daß man den aus der Grube kommenden Thon in 30—60 cm hohen Lagen im Freien aufschüttet und ihn der Einwirkung von Luft und Feuchtigkeit, Wärme und Kälte überläßt; namentlich das Wintern ist wirksam, weil beim Gefrieren des von dem Thon aufgenommenen Wassers durch die beim Gefrieren desselben eintretende Volumvergrößerung sein Gefüge sehr wirksam gelockert wird und alle fest miteinander verkitteten Teilchen auseinander gedrängt werden.

Unter Umständen, wenn nämlich der Thon reichliche Mengen von Schwefelkies enthält, ist es ratsam, von einem Wintern oder Sommern abzusehen, weil namentlich durch den Einfluß von Feuchtigkeit der Schwefelkies oxydiert wird und mit dem in dem Thon enthaltenen kohlensauren Kalk in zum Teil lösliches Calciumsulfat übergeführt wird, wodurch auf der Oberfläche der Ziegel Mißfärbungen erscheinen, die nach dem Brennen die Güte des Materials beeinträchtigen. Solche Materialien werden am besten direkt von der Grube verarbeitet. Da der durch Ausstechen aus der Grube geförderte, gewinterte oder ungewinterte, gesommerte oder nicht gesommerte Thon meistens Beimengungen von unverwitterten oder durch den natürlichen Schlämmprozeß beigemengten Materialien, wie größere und kleinere Steinchen, Kalkstückchen, Gips, Schwefelkies, Marienglas, Baumwurzeln und dergl. enthält und da dieselben, wenn sie im Thon verblieben, bei der Fabrikation Schwierigkeiten verursachen würden, so ist es nötig, dieselben auszuscheiden. Am besten geschieht dies durch Schlämmen, wozu man runde, gemauerte oder mit Holz abgedichtete, seitlich oben mit einem Abschluß versehene Bassins benutzt, in deren Mitte sich eine stehende Welle befindet, an welcher Querarme mit Rechen beweglich sind. Diese Schlämmmaschinen, welche man nach der Anordnung der Welle als stehende bezeichnet, werden mit Pferden oder mit Dampf angetrieben. Der aus der Grube geförderte Thon wird in das Bassin geschüttet, dort mit dem 3—4fachen Volumen an Wasser eingeweicht oder, wie man sagt, eingesumpft und nun beim Antreiben der Welle durch die um ihre Mittelachse laufenden Rechen zu einem rahmdicken Schlamm aufgerührt; die Thonklumpen zerfallen im Wasser, und die feinen Thonteilchen werden durch die Bewegung der Rechen in der Schwebe erhalten. Die Verunreinigungen: Steine, Kalknollen, Schwefelkiesstücke und dergl. fallen

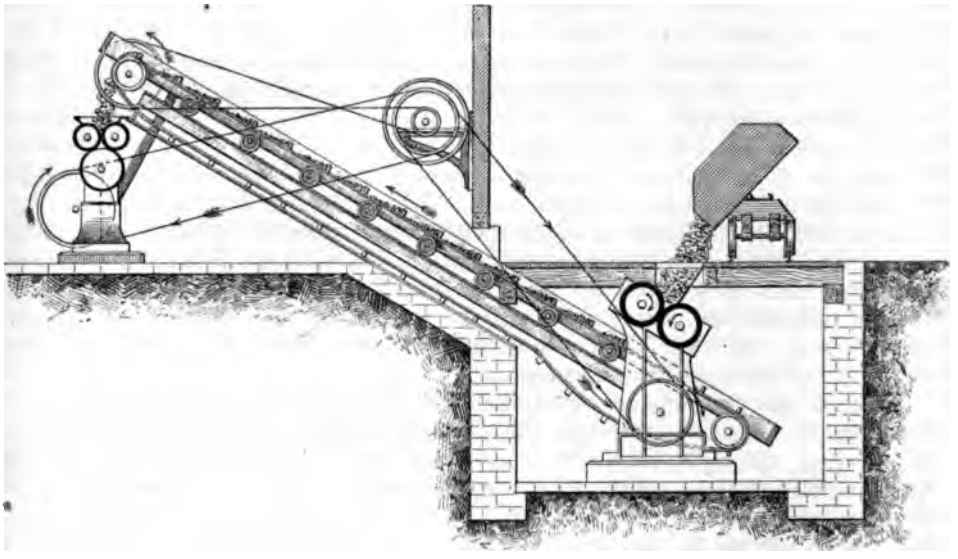
vermöge ihrer größeren Schwere zu Boden, und der im Wasser suspendierte Thon wird in gewissen Zeitabschnitten seitwärts etwa in $^3/_4$ Höhe des Schlämmbassins durch ein enges Gitter abgelassen und großen, flachen, etwa $^1/_2$ m tiefen Schlammgruben zugeführt; zum Teil wird das Wasser von dem unter der Schlämmgrube angehäuften sandigen Erdreich aufgenommen, zum anderen verdunstet es an der Luft, und der gereinigte Thon bleibt als knetbare, an ihrer Oberfläche mit einer harten Kruste bedeckte Masse zurück.

Ist ein Thon sehr fett, so schwindet er beim Trocknen und Brennen häufig so stark, daß die aus ihm gefertigten Waren sich beim Trocknen werfen und hierbei oder beim Brennen reißen. Derartige Materialien müssen mittels Sand oder gebrannten und gemahlenen Thonabfällen, deren Gegenwart der Schwindung entgegenwirkt, vermengt werden. Da der Erfolg davon abhängt, daß eine möglichst innige Mischung des Thones und der magernden Bestandteile herbeigeführt wird, so muß man auf die Erzeugung einer völligen Homogenisierung Bedacht nehmen und den Thon mit den Magerungsmitteln in den ausgeprobten Verhältnissen auf einem Thonschneider oder in der Fahrmühle mehrmals durcharbeiten. Die Fahrmühle besteht aus einem an einer Leitstange beweglichen, in größerem oder geringerem Umfange in einer kreisförmigen ausgedielten Grube um eine zentrale Achse laufenden, schwer belasteten Wagen, durch dessen Räder der Thon durchknetet und mit den angewandten Magerungsmitteln innig gemischt wird und etwaige Steinchen zerdrückt werden. Die Thonschneider sind als Knetmaschinen aufzufassen, in denen das durch Einsumpfen im Zustande des Erweichens befindliche Material durch Messer, welche horizontal stehend spiralförmig um eine Achse herumgelagert sind, zerschnitten, zerdrückt und gemischt wird. Während die früheren Thonschneider aus hölzernen Bottichen mit den nötigen eisernen Verankerungen bestanden, welch letztere aber infolge der Verbindung von Holz und Eisen durch das abwechselnde Naßwerden und Austrocknen der Holzteile leicht gelockert wurden und dadurch infolge starker Abnutzung von Lager und Welle sehr bald Anlaß zu Reparaturen gaben, baut man neuerdings lieber ganz aus Eisen bestehende Thonschneider; je nachdem die Achse senkrecht oder wagerecht gelagert ist, unterscheidet man liegende und stehende Thonschneider. Die ersten haben den Vorzug, daß der Thon nicht gehoben zu werden braucht, um in den Thonschneider zu gelangen.

Der in dem Thonschneider durchknetete und homogenisierte Thon tritt an dem der Einfüllöffnung entgegengesetzten Ende als Strang kontinuierlich aus und ist für das Verziegeln fertig. Geschieht das Formen der Ziegel mit der Hand, so bedient man sich entweder hölzerner oder gußeisener oder aus Bandeisen hergestellter Formen, welche an der oberen und unteren Seite offen sind. In die mit Wasser genetzten oder mit Sand ausgestreuten Formen schlägt der Thonstreicher den vom Thonschneider entnommenen Thon mit ziemlicher Gewalt ein, streicht die überstehende Masse mittels eines linealartigen Brettchens ab und legt die Ziegel paarweise flach auf die mit Sand bestreuten Trockenbretter. Meistens arbeiten an einem Streichtisch zwei Arbeiter, welche in zehn Arbeitsstunden bis zu 6000 Ziegel (Normalformat von 25 : 12,5 : 6 cm Größe) zu fertigen im stande sind. Die mit fertig gestrichenen Ziegeln belegten Bretter werden durch Abträger, von welchen für jeden Streichtisch 2—3 erforderlich sind, in die Trockenschuppen gebracht. Meistens ist es üblich, eine derartige Fabrikation in Akkordarbeit ausführen zu lassen.

An solchen Orten, an denen ein geregelter Jahresbetrieb besteht, werden die Ziegel seit Mitte der 60er Jahre mittels Dampfpressen hergestellt. Die modernen Ziegelpressen sind derartig eingerichtet, daß die aus der Grube geförderten und gesumpften Thone geschlämmt, oder falls dies nicht erforderlich ist, ungeschlämmt mit oder ohne Zusatz von Magerungsmitteln direkt angefahren und mittels eines ein- oder mehrfachen Walzwerkes zerquetscht und einem mit Schneckenwelle versehenen, stehenden oder liegenden Thonschneider zugeführt werden, aus welchem die Thonmasse durch ein oder mehrere Mundstücke in Form eines Stranges vom Querschnitt des Längsdurchschnittes der Ziegel austritt. Die Mundstücke sind so eingerichtet, daß sie den Normalstein als kompakte Masse (Vollziegel) oder die Hohlziegel mit 4 oder 6 Löchern, welche das Innere des Steines durchbrechen, austreten lassen. Die Hohlsteine haben den Vorzug, leichter zu trocknen, schneller und gleichmäßiger durchzubrennen und von geringerem Gewicht zu sein. Man

verwendet sie daher gern zu Gewölben und zu solchen Gebäudeteilen, die möglichst leichtes Gewicht haben sollen, während man die Vollziegel bei solchen Konstruktionen vorzieht, welche möglichst stark belastet werden müssen. Bei dem in der Abbildung wiedergegebenen Fabrikationsverfahren von Schlickeysen (vergl. Abb. 152 u. 153) sind die Walzwerke so angeordnet, daß das erste Walzenpaar zu ebener Erde bezw. unter der Erde liegt, und die Ziegelerde, nachdem sie dasselbe passiert hat, auf einen Tellerelevator fällt, welcher dieselbe dem zweiten, über der Presse gelegenen Walzenpaar zuführt. Von hier fällt die fertige Masse in die Ziegelpresse, deren Konstruktion aus der zweiten Abbildung ersichtlich ist. Der aus dem Mundstück der Presse austretende Strang wird senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung in einem Abstand, welcher der Dicke der Ziegel entspricht, durch senkrecht zur Preßrichtung geführte Drähte in einzelne Steine zerschnitten, welche hochkantig paarweise auf Trockenbretter gelegt und in die Trockengerüste transportiert werden. Will man dieselben von einer Etage in die andere heben, so verwendet man einen Elevator, wie solcher aus nebenstehender Zeichnung ersichtlich ist, wodurch man erheblich an Fortbewegungskosten spart.



152. Durchschnitt durch eine Anlage mit Elevator zum Transport des Thones zur Presse.

Für manche Fabrikate hat man es versucht, die Thone nicht in nassem, sondern in trockenem Zustande mit einem Feuchtigkeitsgehalt von höchstens 8 % Luftfeuchtigkeit auf hydraulischen Pressen zu verarbeiten. Dies Verfahren hat manche Vorzüge und bietet vor allem den Vorteil, daß man die Steine direkt von der Presse weg, ohne sie zu trocknen, in den Ofen transportieren und brennen kann. Soweit die vorliegenden Versuche als maßgebend erachtet werden können, eignen sich für eine derartige Fabrikation aber nicht alle Thone, sondern vorzugsweise die weniger plastischen Schieferthone. In Deutschland, wo man zur Herstellung von Ziegeln derartige Schieferthone nicht verarbeitet, hat sich dies Verfahren bisher noch nicht eingebürgert, wohl aber in den Vereinigten Staaten von Amerika, wo man gute Resultate mit dieser Herstellungsweise erzielt haben will.

Naßgeformte Ziegel, welche infolge eines Gehaltes an löslichen Salzen (namentlich Gips) beim Trocknen ausschlagen und nach dem Brennen auf der Oberfläche weiße Ausblühungen zeigen, müssen mit Barytsalzen versetzt werden, damit die löslichen Salze unlöslich gemacht und von dem Auskryställisieren an der Oberfläche fern gehalten werden. Am zweckmäßigsten werden $^3/_4$ Teile der löslichen Salze mit der entsprechenden Menge Chlorbaryum und $^1/_4$ Teil mit der doppelt so großen Menge kohlensaurem Baryt umgesetzt und dieser Prozeß am besten beim Durcharbeiten im Thonschneider bewirkt.

Man kann hierdurch aus Thonen, welche sonst nicht reinfarbig brennen, völlig reinfarbige Erzeugnisse herstellen. Anderseits versieht man Ziegel, welche nach dem Brennen keine ansehnliche Farbe haben, im halbtrockenen, trockenen oder gebrannten Zustande mit einem Überzug aus Thon von der gewünschten Brennfarbe, ein Verfahren, das man mit „Engobieren" bezeichnet. Die Engobe wird dann mit den Steinen zusammen gebrannt. Häufig engobiert man auch die gebrannten mißfarbenen Ausschußziegel und macht sie auf diese Weise zu besserwertigen Fabrikaten. Immer muß die Engobe beim Trocknen und Brennen denselben Ausdehnungskoeffizienten besitzen wie der engobierte Stein, da anderenfalls der Überzug abfallen oder rissig werden würde.

Die naßgeformten Ziegel, welche einen Luftfeuchtigkeitsgehalt von etwa 33 % besitzen, müssen, bevor sie zum Brennen geeignet sind, getrocknet werden. Das Trocknen geschah früher meistens im Freien und auf ebener Erde (Planbetrieb). Heutzutage trocknen die meisten Ziegeleien in eigens dafür hergerichteten Schuppen, welche mit Gerüsten versehen sind, in denen die auf Bretter gelegten Steine aufgestapelt und von der Luft durchstrichen werden können. Je nach der Empfindlichkeit des Materials und dem Feuchtigkeitsgehalt und dem Wärmegrade der Luft können die Ziegel auf diese Weise in 3—14 Tagen getrocknet werden. Sind dieselben gegen Zug und schnelle Erneuerung der Trockenluft, also gegen schnelles Trocknen empfindlich, so muß dafür gesorgt werden, daß der Trockenprozeß langsam verläuft. Man baut Trockenschuppen für derartige Materialien in der Weise, daß sie nach außen hin durch verstellbare Jalousien oder durch Klappen mehr oder weniger geschlossen werden können, wodurch der Trockenprozeß je nach Bedarf verlangsamt werden kann. Je langsamer man trocknet, desto größerer Schuppenanlagen bedarf man und desto größer werden die Kosten der Anlage; man sucht daher jedes Material so schnell zu trocknen, wie seine Natur es zuläßt, und so ging das Bestreben der Techniker dahin, Anlagen zu schaffen, welche es gestatten, die Ziegel, ohne daß dieselben darunter leiden, in kürzester Frist zu trocknen. Als Wärmequelle für den sogenannten künstlichen Trockenprozeß benutzte man in erster Linie die durch Strahlung vom Ofen ausgehende Wärme und errichtete zunächst abgeschlossene Trockenräume um und über dem Ofen. Um die von dem Ofen ausgestrahlte Wärme möglichst gut auszunutzen, war es nötig, für eine möglichst wirksame Ventilation Sorge zu tragen, wenn anders die von dem Ofen ausgehende Wärme den Steinen nicht in sehr ungleicher Weise zu teil werden sollte. Das Bestreben der Techniker ging also zunächst dahin, der Wärmeluft innerhalb der Steine irgend eine Bewegungsrichtung zu geben, um sie dadurch allen Steinen gleichmäßig zu teil werden zu lassen. Die durch die Berührung mit den Steinen abgekühlte Luft wurde an gewissen Stellen abgesaugt und ins Freie geführt. Die ersten auf einem derartigen Prinzip beruhenden Trockenanlagen wurden von Cohrs ausgeführt, welcher die vom Ofen abgehende Wärme von oben nach unten durch die mit Steinen besetzten Gerüste führte und dadurch eine gesteigerte Ausnutzung der Wärme herbeiführte.

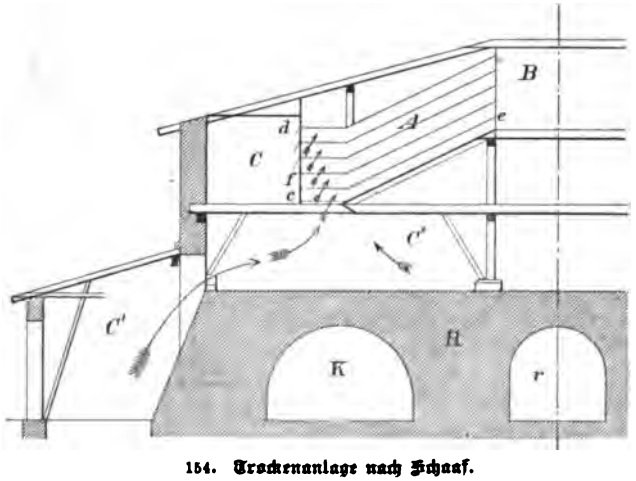
153.
Elevator für fertige Ziegel.

Ganz davon abweichend ist die von Schaaf erdachte sehr sinnreiche Trockeneinrichtung, welche auf dem Prinzip des Gegenstromes beruht und die feuchtesten Steine, von der Presse kommend, mit der abgehenden feuchten Luft, die sich in den trockenen Steinen mit Feuchtigkeit gesättigt hat, und die trockensten Steine an der Stelle, von welcher sie zum Ofen geschafft werden, mit der trockensten wärmsten Luft in Berührung bringt. Wie aus umstehender Skizze (s. Abb. 154) ersichtlich, ist der Trockenraum A in mehrere Etagen zerlegt, die wie einzelne Trockenschränke zu denken sind, aus denen die Ziegel, sobald die

getrockneten Waren bei c d f entfernt werden, ſelbſtändig abrutſchen. Die warme Luft durchſtreicht den Trockenraum in der Pfeilrichtung.

Großes Aufſehen hat die neuerdings von Möller & Pfeifer gebaute Trockeneinrichtung erregt, welche in einem Kanal beſteht, an deſſen einem Ende die auf Schienen laufenden, beſonders konſtruierten Wagen mit von der Preſſe kommenden naſſen Ziegeln beladen eingefahren werden, während an dem anderen Ende die bei 130° C. getrockneten Waren den Kanal verlaſſen. In dieſem Trockenkanal ſind an dem Ende, von welchem die trockenen Ziegel abgefahren werden, ein oder zwei direkte, von außen her bediente Feuerungen angeordnet, deren Feuergaſe durch die mit Rippen verſehenen eiſernen Kaloriferen ſtreichen und dann in die Eſſe geleitet werden, ohne mit den zu trocknenden Ziegeln in direkte Berührung zu kommen.

Die im übrigen Teil des Kanals liegenden Kondenſationsheizkörper, gerippte gußeiſerne Rohre, geben Wärme dadurch ab, daß durch ſie hindurch der dem zu trocknenden Material entzogene Waſſerdampf geführt wird. Dasjenige Ende des Kanals, an welchem ſich die direkte Heizung befindet, iſt durch eine mit Gegengewicht ausgeglichene Hubthür geſchloſſen; das andere Ende des Kanals kann offen ſein. In den Seitenwänden des Kanals ſind Ventilatoren angebracht, welche weder Luftein- noch Ausführung verurſachen, ſondern die im Kanal befindliche Luftmenge ſenkrecht zur Längsachſe desſelben von der Heizung durch die Wagen mit Ziegeln, ſodann durch die zweite Heizvorrichtung durch die zweite Wagenreihe, durch die dritte Heizvorrichtung und dritte Wagenreihe, alsdann in den Schacht neben dem Ventilator nach unten durch Sohlkanäle wieder zur erſten Heizung zurückführen; ſie dienen alſo ausſchließlich zur Übertragung der Wärme von den Heizkörpern auf das zu trocknende Material. Die Kondenſationsheizkörper münden an beiden Enden in Sammelgefäße, von denen die ſeitlichen nach den Kaloriferen zu liegenden mit einem über der Decke liegenden Kanal am heißen Ende des Trockenraumes in Verbindung ſtehen. Mittels eines kleinen Exhauſtors wird durch dieſen Kanal am heißen Ende des Trockenraumes Luft angeſaugt, ſo daß der vorher erwähnten zur Längsachſe des Trockenraumes ſenkrecht kreiſenden Luft eine allmählich fortſchreitende ſpiralige Drehung verliehen wird. Die durch die Öffnungen an der Decke am heißen Ende abgeſaugte, mit Waſſerdämpfen beladene Luft geht infolgedeſſen durch den über der Decke liegenden Kanal durch das Innere der Rippenrohre, dieſe erwärmend, ſich ſelbſt aber abkühlend und zu Waſſer verdichtend, rückwärts nach dem kalten Ende des Kanals hin, von wo die feuchten, von der Preſſe kommenden Ziegel eingefahren werden, und endlich durch den Exhauſtor ins Freie. Auf dieſe Weiſe ſtellen ſich die Temperaturen im Trockenraume von ſelbſt ſo ein, daß ſie vom kalten bis zum heißen Ende allmählich ſteigen; willkürlich eingeſtellt werden kann die Temperatur an der Stelle, wo die Feuerluftheizung ſich befindet. Durch dieſe Einrichtung iſt es möglich geworden, die latente Wärme der im Inneren der Kondenſationsrohre ſich befindenden Waſſerdämpfe wieder zu gewinnen und die Ziegelſteine in viel kürzerer Zeit zu trocknen, als dies bei allen bisher bekannten Anlagen möglich war, weil die feuchten Materialien immer nur mit einer Luft in Berührung kommen, welche ein möglichſt geringes Aufnahmevermögen von Waſſerdämpfen beſitzt. Die auf dieſe Weiſe



154. Trockenanlage nach Schaaf.

getrockneten Steine trocknen also an der Oberfläche wenig schneller als im Inneren, wodurch ein Zerreißen derselben nicht in dem Maße stattfindet, als es bei einer gleich beschleunigten Trocknung in anderen Einrichtungen der Fall sein würde. Zudem hat diese Einrichtung den großen Vorzug, daß die an der Presse gefertigten noch weichen Steine im weichen Zustande nur einmal mit der Hand berührt zu werden brauchen; ein zweites Mal werden sie erst angefaßt, wenn sie den Trockenkanal, welcher am heißen Ende eine Temperatur von 130° C. besitzt, als hartgetrocknete Ware verlassen. Die getrockneten Steine gelangen direkt in den Ofen, und es leuchtet ein, daß Materialien, welche beim Trocknen auf 130° C. erhitzt sind, denen also alles hygroskopische Wasser genommen ist, mit einem erheblich geringeren Aufwand an Brennmaterial gebrannt werden können, als solche Fabrikate, die bei einer geringeren Wärme getrocknet sind, und bei welchen die in ihnen noch enthaltenen 33% Wasser durch den Brennprozeß ausgetrieben werden müssen.

155. „Die Industrie", Terrakottarelief am Rathaus zu Berlin von E. March Söhne.

Die Erzeugnisse einer Ziegelei können von sehr verschiedener Art nicht nur in Bezug auf ihre Güte, sondern auch ihrem Zwecke nach sein, und so unterscheidet man Hintermauerungssteine, Dachziegel oder Biberschwänze, Falzziegel, Flurplatten, Verblendziegel oder Vormauerungssteine, Ornamentziegel, Drainröhren, Brunnenröhren und anderes. Von den besserwertigen Erzeugnissen seien zunächst die Verblender oder Vormauerungssteine besprochen, welche in lederhartem Zustande sauber nachgearbeitet sein müssen und häufig mit anderen Thonen oder mit Mischungen verschiedener Thone und färbender Metalloxyde überzogen oder engobiert sind. Dieselben müssen von möglichst gleichförmiger Beschaffenheit und sauber gearbeitet sein, da die mit ihnen hergestellten Mauerflächen nicht abgeputzt (berappt) werden, sondern roh bleiben. Häufig sind die Verblender mit Ornamenten in erhabener Arbeit geschmückt und gehen dann meist über das Maß der deutschen Normalziegel 25 : 12,5 : 6,5 cm hinaus. Diese sogenannten Formsteine, Ornamentziegel, Formstücke, Gesimsstücke oder Bekrönungsziegel faßt man unter der Bezeichnung: Große oder Bauterrakotta zusammen. Bei uns haben diese Terrakotten für die Architektur Wert erlangt, da man vielfach Ornamente und äußere Teile eines Hauses: Füllungen, Gesimse, Aufsätze, Statuen u. s. w. aus gebranntem Thon herstellt. Das Berliner Rathaus, dessen Gesimsterrakotten aus der Fabrik von Ernst March Söhne in Charlottenburg

hervorgegangen sind, liefert einen schönen Beweis von der Leistungsfähigkeit unserer Terrakottafabrikanten, unter denen die genannte Firma in dieser Beziehung eine führende Stellung einnimmt, und von dem reizvollen Effekt, welcher mit diesen Erzeugnissen zu erreichen ist. Eine glänzende Probe davon war auch der Triumphbogen, den gelegentlich der Wiener Weltausstellung die Wienerberger Ziegelfabrik ganz allein aus ihren Erzeugnissen errichtet hatte, und an welchem alle die verschiedenen Behandlungsweisen, welche das Material erlaubt: Reliefformung, Glasur, Emaillierung, Bemalung, Vergoldung u. s. w., zu prächtiger künstlerischer Gesamtwirkung vereinigt waren.

Die gewöhnliche Terrakotta bezeichnet den ersten Fortschritt, den die Thonbildnerei bei allen Völkern gleichmäßig gemacht hat; denn es mußte sehr bald die Überlegung darauf führen, die zuerst nur an der Luft getrockneten Thongebilde der wirksamen Hitze des Feuers auszusetzen, um sie zu härten, und die ältesten Überreste, welche wir in den Gräbern der Römer, Griechen, Kelten, Slawen u. s. w. finden, sind nichts anderes als Terrakotten.

Neben den Verblendziegeln verdienen die Falzziegel eine besondere Beachtung, nicht nur ihrer subtilen Herstellungsweise wegen, sondern auch der großen Bedeutung halber, die sie in neuerer Zeit als Handelsartikel erlangt haben. Sie werden entweder in Gipsformen durch einen gegen einen feststehenden Unterstempel sich bewegenden Oberstempel gepreßt oder ähnlich wie die gewöhnlichen Ziegel von einem kontinuierlich austretenden Strang in der gewünschten Länge abgeschnitten. Die Falzziegelfabrikation stammt aus Frankreich, und um ihre Einbürgerung in Deutschland hat sich der bekannte Ziegeleitechniker O. Bock mannigfach verdient gemacht; ihren Namen haben diese Ziegel von den eigenartigen Falzen oder Überdeckungsleisten, mittels deren sie so ineinander greifen, daß Regen oder Schnee nicht durch das Dach getrieben werden kann. Die Falzziegel müssen bis zu völliger Sinterung gebrannt werden. Von den vielen deutschen Fabriken, die jetzt vorzügliche Falzziegel anfertigen, nennen wir als die nach Quantität und Qualität leistungsfähigste die Fabrik von Ludovici bei Jockrim in der Pfalz und in Ludwigshafen.

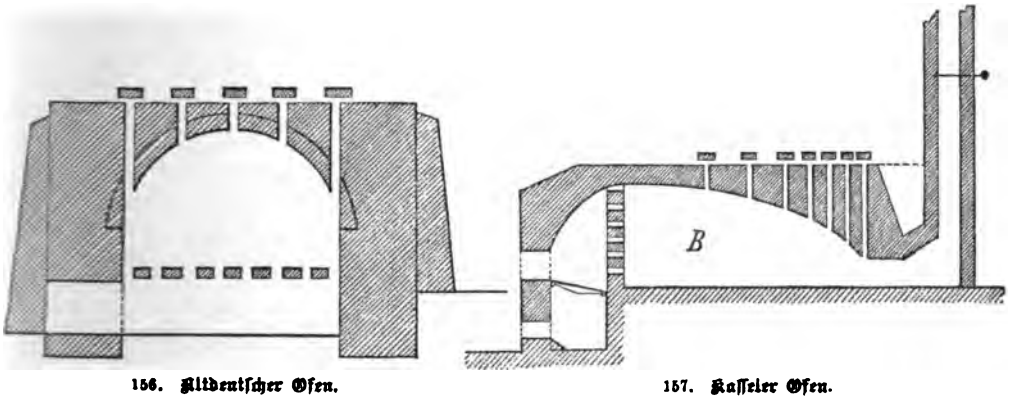
Eine besondere Abart der Dachziegel hinsichtlich ihrer Fabrikation sind die sogenannten Paketdachziegel von Diesener, welche zu mehreren übereinander geschichtet aus einer Strangpresse austreten und durch Verbindungsstücke lose aneinander haften. Die Verbindungsstücke, welche ein Verziehen der Ziegel beim Trocknen und Brennen verhindern sollen, fallen nach dem Brennen durch einen leisen Schlag gegen das Ziegelpaket ab. Da Dachziegel um so verkaufsfähiger sind, eine je geradere Form sie besitzen, so ist diese Fabrikationsweise an vielen Orten mit Erfolg eingeführt worden.

Die Fabrikation der Drainröhren, welche ebenfalls als Strang zu mehreren neben-, zuweilen auch übereinander aus einem Mundstück ausgepreßt und dann durch einen Abschneidedraht auf die gewünschte Länge geschnitten werden, läuft in Gegenden, wo steter Bedarf an derartigen Erzeugnissen zum Abwässern feuchtgründiger Felder ist, meist neben der Ziegelfabrikation einher und bietet dieser gegenüber besondere Eigentümlichkeiten nicht. Je nach Wunsch setzt man dem zur Drainröhren-Erzeugung dienenden Thon, wie bei der Fabrikation poröser Steine, auch organische Bestandteile zu, welche beim Brennen zerstört werden und die Saugefähigkeit des Fabrikates erhöhen. Vielfach werden jedoch scharf gebrannte Drainröhren vorgezogen, weil sie erstens Senkungen der überlagernden Bodenschichten besser Widerstand leisten, zweitens, da man die Erfahrung gemacht hat, daß stark poröse Röhren durch feine Schlammpartikelchen bald verstopft werden und diese Rohrstränge überhaupt nur an der Stoßfuge Wasser einsaugen.

Häufig werden die Verblendziegel, sowie die besseren Dachziegel, vor allen Dingen aber die Falzziegel, auch mit Glasuren versehen in blau, braun, gelb, schwarz oder anderen Farben, um auf diese Weise dem Bau ein lebhafteres Ansehen zu geben. Diese Glasuren bestehen meist aus Bleiglätte, Lehm und Sand und müssen bezüglich ihres Schmelzpunktes der Brenntemperatur der Steine angepaßt werden. Früher wurden die Dachziegel häufig gedämpft, d. h. nach dem Garbrennen in einer rauchigen Atmosphäre abgekühlt, wobei die in ihnen enthaltenen Eisenoxyde in schwarzes Eisenoxyd, zum Teil

auch in metallisches Eisen übergeführt wurden, durch ihre ganze Masse Graphit abgelagert und ihnen ein schieferähnliches Aussehen gegeben wurde; jetzt werden diese gedämpften Ziegel mehr und mehr verdrängt von glasierten Steinen, weil die gedämpften Ziegel in mancher Hinsicht die auf sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllt haben und es vor allen Dingen schwer ist, bei gedämpften Ziegeln den Schwachbrand von den wetterbeständigeren Hartbrandsteinen zu unterscheiden. Auch das Teeren der Dachziegel, wodurch ihnen gleichfalls ein schieferartiges Aussehen gegeben werden soll, ist noch zu erwähnen. Das Teeren geschieht durch bloßes Eintauchen der frisch gebrannten, noch mäßig warmen Ziegel in siedenden Teer; daß schlechte Ziegel hierdurch wetterbeständiger gemacht werden sollen, ist entschieden zu verneinen.

Das Brennen der Ziegel geschah früher in Meilern oder auch in Öfen, welche periodisch betrieben wurden. Am meisten gebräuchlich waren stehende, viereckige Öfen, welche in ihrer ältesten Bauart nach oben offen, später nach oben hin aber durch ein Gewölbe abgeschlossen waren, das von Öffnungen durchbrochen war, aus denen die Rauchgase austreten konnten. Diese sogenannten altdeutschen Öfen (vgl. Abb. 156), welche außerordentlich viel Brennmaterial bedürfen, finden wir auch heute noch auf kleineren Ziegeleien. Als eine Verbesserung dieser Öfen sind die sogenannten Kasseler Öfen (vgl. Abb. 157) anzusehen, in welchen die Flamme nicht senkrecht aufsteigt, sondern wagerecht die Steine durchstreicht. Diese Öfen, welche sich sowohl im senkrechten, wie im

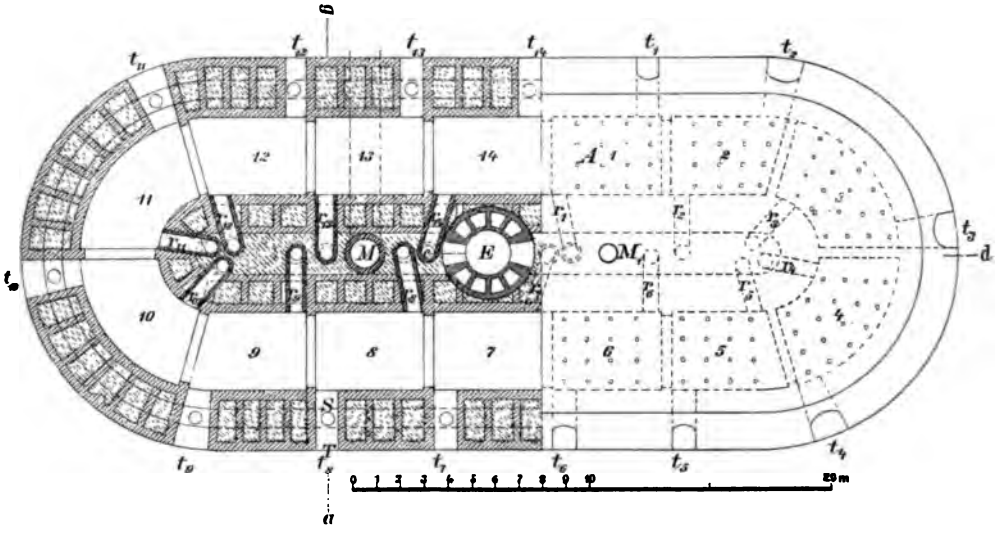


156. Altdeutscher Ofen. 157. Kasseler Ofen.

wagerechten Schnitt nach der Esse zu stark verjüngen und dadurch eine vorteilhafte Pressung der Flamme aufzuweisen haben, besitzen aber ebenfalls noch den Nachteil, daß sie zu viel Brennmaterial beanspruchen, ohne daß dabei ein gleichmäßig gut gebranntes Fabrikat erzielt würde. So hatte sich beim Brennen der Ziegel, deren Wert im Verhältnis zu dem Aufwande an Brennmaterial kein allzu hoher war, zuerst das Bedürfnis fühlbar gemacht, Öfen zu besitzen, in denen das Brennmaterial besser ausgenützt werden könnte. Der Gedanke, die Hitze, welche durch die Rauchgase davon getragen wird, anstatt sie nutzlos in das Freie zu entlassen, zum Vorwärmen des Brenngutes zu verwenden, führte die Ofenkonstrukteure um die Mitte dieses Jahrhunderts auf den Gedanken, die abgehenden Gase zum Vorwärmen des Brenngutes zu verwenden. Lebensfähig wurde dieser Gedanke aber erst durch Friedrich Hoffmann in die Wirklichkeit übertragen dadurch, daß es ihm gelang, im Jahre 1858 einen Ofen zu konstruieren, welcher nach seinem ursprünglich ringförmigen Grundriß den Namen „Ringofen“ erhielt. Dieser Hoffmannsche Ringofen besteht aus einem in sich geschlossenen Brennkanal, dessen Grundriß rund, oval, eckig oder sonstwie sein kann. Der Brennkanal, welcher nicht (wie beim Kammerofen) durch Zwischenwände in einzelne Öfen zerlegt wird, sondern als ein Raum ohne Ende angesehen werden muß, ist von außen durch Arbeitsthüren zugänglich und mit dem meist in der Mitte stehenden Schornstein durch ebensoviele Rauchabzugskanäle verbunden. Die Einführung des Brennmaterials erfolgt von oben durch im Gewölbe befindliche Schüttlöcher, und das Feuer bewegt sich immer in einer Richtung im Ofenkanal

vorwärts, wobei die abziehenden Rauchgase zur Vorwärmung benutzt werden und die zur Verbrennung erforderliche Luft, indem sie die heißen Steine durchstreicht und abkühlt, sich an ihnen vorwärmt, bevor sie an das Brennmaterial herantritt. Hierdurch wird eine außerordentlich große Ersparnis von Brennmaterial gegen die früheren nicht kontinuierlich betriebenen Öfen herbeigeführt und eine so viel größere Ausnutzung des Brennstoffes bewirkt, daß man im Verhältnis zu den früheren Öfen bis zu 75 % Brennmaterial zu sparen gelernt hat. Die Hoffmannschen Ringöfen werden zweckmäßig zu 14—18 Abteilungen gebaut, doch gibt es auch Öfen, welche die doppelte Anzahl von Abteilungen besitzen und die dann mit zwei Feuern betrieben werden. Jede Abteilung faßt etwa 10 000 Normalziegel, und zum Brennen von je 1000 Normalziegeln im Ringofen rechnet man 100—150 kg Steinkohle.

Die eigentliche Massenproduktion von Ziegeln ist erst durch die Erfindung und Einführung des Hoffmannschen Ringofens ermöglicht; volkswirtschaftlich und in Bezug auf das schnelle Anwachsen der großen Städte ist derselbe von der allergrößten Bedeutung geworden.



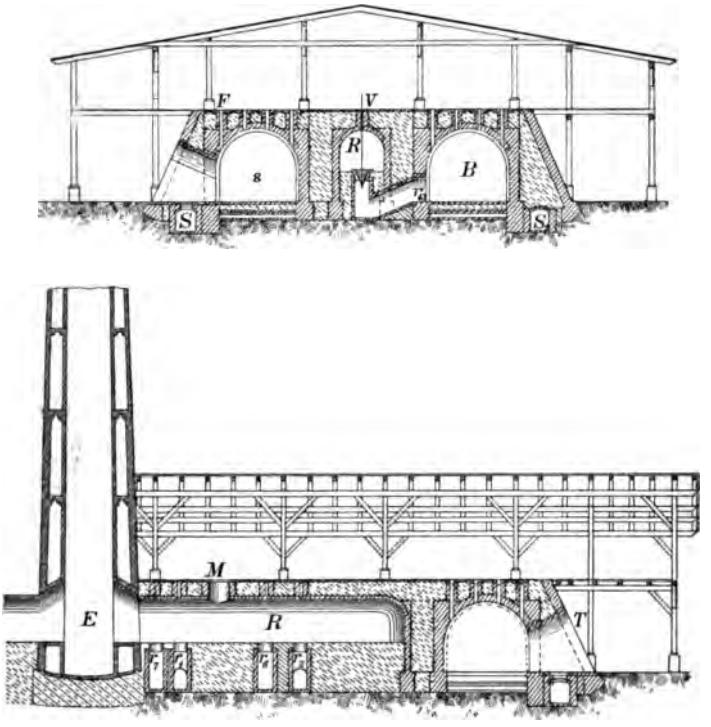
158. Hoffmanns Ringofen (Grundriß).

Alle neueren kontinuierlich betriebenen Öfen stellen sich nur als Modifikationen dieses Ofentypus dar, und die Verbesserungen derselben laufen auf zweierlei hinaus: 1. suchen sie durch Heizständer oder Heizwände die Verbrennung der Kohle so zu gestalten, daß dieselbe innerhalb dieser Heizwände verbrennt, damit eine Berührung der Steinflächen mit der Asche des Brennmaterials nicht stattfinden kann, Verunreinigungen der Verblendflächen oder der glasierten Steine also ausgeschlossen sind, 2. streben sie durch eingebaute Feuerbrücken und Trennwände, durch die der Ofenkanal in eine Anzahl von einzelnen Kammern (dadurch entsteht der sogenannte Kammerofen) zerlegt wird, anstatt der gleichförmig wagerechten Feuerrichtung eine Auf- und Abbewegung der Flamme an, um dadurch einen besseren Ausgleich der Hitze in den oberen und unteren Zonen des Ofens herbeizuführen. Alle diese Einrichtungen, so berechtigt sie auch zum Brennen von feineren Erzeugnissen sind, haben aber eine weit geringere Ersparnis an Brennmaterial zur Folge und sind daher nur für besser bewertete Waren, oder wenn man höhere Temperaturen erreichen will, von Nutzen. Auch Generatorgas wird bei Erzeugung besserer Waren mit Erfolg zum Betriebe von Ring- und Kammeröfen verwendet.

Von einem anderen Gesichtspunkte bei Einrichtung eines kontinuierlich brennenden Ofens ist Otto Bock ausgegangen; er baute nicht einen ringförmig geschlossenen Kanal mit umlaufendem Feuer, sondern konstruierte einen geraden Kanal mit feststehendem Feuerherd und ließ die Waren auf Schienenwagen durch den Kanal ziehen; dies ist der

sogenannte Kanalofen von Bock. Die Vorwärmung geschieht wie bei Ringöfen ebenfalls durch die den ungebrannten Steinen entgegenströmenden abgehenden Heizgase. Dieser Ofen hat sich trotz der dem Prinzip zu Grunde liegenden ingeniösen Idee leider nicht in der zu erwartenden Weise eingeführt, hauptsächlich weil bei den ersten Anlagen manche Konstruktionsfehler in der Eisenarmierung gemacht waren und dadurch das Vertrauen zu der Erfindung geschwächt wurde. Daß bei sorgfältiger Konstruktion und bei guter Bedienung der Ofen stabil ist und Gutes leistet, beweist u. a. der über 30 Jahre lange unausgesetzte Betrieb eines solchen Ofens in der rühmlichst bekannten Thonwarenfabrik Fickentscher in Zwickau.

Das Brennen der Ziegelwaren geschieht im allgemeinen bei ziemlich niedrigen Temperaturen und richtet sich in erster Linie nach der Schmelzbarkeit des zu brennenden Thones. Erzeugnisse aus kalkhaltigen Thonen werden bei etwa Segerkegel 010—05 (950 — 1050° C.), solche aus kalkarmen aber eisenhaltigen Thonen bei Segerkegel 02—1 (1110 bis 1150° C.) und solche aus noch weniger flußmittelreichen Thonen bis etwa Segerkegel 6 (1250° C.) ansteigend gebrannt. Diese im In- und Auslande mit großem Erfolge eingeführten Pyroskope zur Beobachtung der Temperatur werden mit den Erzeugnissen zusammen in den Ofen gestellt; durch Schaurohre von außen her beobachtet man ihr Umschmelzen.



159 u. 160. Hoffmanns Ringofen (159. Schnitt a b. 160. Schnitt c d).

Die Herstellungskosten der Ziegel richten sich neben der Höhe der Arbeitslöhne vor allen Dingen auch nach dem Umfang der Fabrikation; bei einer Produktion von 3 Millionen Normalziegeln belaufen sich die Herstellungskosten für je 1000 Mauerziegel (25 : 12,5 : 6 cm Größe) auf etwa 12 Mark. Je größer die Produktion und je länger im Laufe des Jahres der Betrieb ohne Unterbrechung fortgeführt werden kann, desto günstiger stellt sich das Verhältnis zwischen Gestehungskosten und Gewinn; daher wird ein kontinuierlich durchgeführter Winter- und Sommerbetrieb, wie er durch eine Möllersche Trockenanlage unabhängig von den Witterungseinflüssen ermöglicht wird, in wirtschaftlicher Beziehung äußerst günstige Resultate herbeiführen. Zudem fallen bei dieser Kanal-Trockenanlage die ausgedehnten Schuppen- und Trockenhäuser und das mehrmalige Umladen und Umsetzen der Ziegel fort, und da bei der Ziegelfabrikation der größte Teil der Kosten durch den Transport von Lehm und Steinen verursacht wird, so ist eine Abkürzung des Transportweges von der allereinschneidendsten Bedeutung für die Gestehungskosten der Waren.

Das Deutsche Reich produziert zur Zeit in etwa 6000 stehenden Betrieben (zur Ziegelei-Berufsgenossenschaft gehören einschließlich der Feldziegeleien über 12000 Betriebe)

annähernd 3 Milliarden Normalziegel, die Produktion Englands wird ebenso hoch, diejenige der Vereinigten Staaten von Amerika auf etwa 7 Milliarden geschätzt, wobei aber zu berücksichtigen ist, daß die deutschen und englischen Steine 3,5 kg, die amerikanischen nur 2,5 kg wiegen. Dem Gewichte nach berechnet sich die jährliche Produktion in Deutschland und in England auf etwa je 10000000 t, diejenige der Vereinigten Staaten auf etwa 17000000 t. In Deutschland kommen auf den Kopf der Bevölkerung durchschnittlich jährlich 60, in England 90, in den Vereinigten 130 Ziegel.

2. Feuerfeste Steine und Fabrikate.

Während die gewöhnlichen Mauerziegel ihrer Zusammensetzung und technischen Behandlung nach dazu bestimmt sind, den Einflüssen der Atmosphäre Widerstand zu leisten, geht man bei der Fabrikation der feuerfesten Steine darauf aus, ihnen eine solche Zusammensetzung zu geben, daß sie geeignet sind, bei den verschiedenen Prozessen der Technik möglichst hohen Temperaturen und den Angriffen von Flugasche und Schlacken Widerstand zu leisten. Je nachdem die Prozesse, für welche die feuerfesten Steine Verwendung finden sollen, *saure* oder *basische* sind, wird man für die Zusammensetzung derselben Materialien von ebenfalls basischem oder saurem Charakter nehmen müssen, d. h. man wird für basische Prozesse Steine herstellen müssen, welche möglichst viel Thonerde enthalten, für saure Prozesse dagegen solche, welche stark kieselsäurereich sind. Außerdem wird es darauf ankommen, den Steinen in manchen Fällen ein möglichst dichtes Gefüge zu geben, damit sie mechanischen Angriffen infolge Reibung oder Stoß und dem Eindringen von schmelzenden Körpern und von Flugasche einen möglichst großen Widerstand entgegensetzen. Denn, je besser die einzelnen Teile des Steines miteinander verkittet sind und je dichter das Gefüge des Steines ist, desto weniger leicht können die ihn zersetzenden Stoffe seine Zerstörung bewirken.

Für die *basischen Steine* kommen demnach in der Hauptsache hochthonerdehaltige Thone in Betracht und eine aus solchen hergestellte Chamotte als Magerungsmittel. Das Chamottematerial muß so scharf gebrannt sein, daß es in seinem Gefüge vollständig geschlossen ist und bei der Temperatur, für welche der Stein verwendet werden soll, nicht weiter nachschwindet, d. h. das Chamottematerial muß unter allen Umständen bei einer Temperatur gebrannt sein, die höher ist als die, für welche der Stein später beansprucht wird. Der rohe Thon, welcher der gebrannten Chamotte als Bindemittel dient und die Masse formbar macht, wird am besten so gewählt, daß sich derselbe schon bei niederer Temperatur dichtbrennt, damit man nicht gezwungen ist, bei der Herstellung der Steine eine allzu hohe Garbrenntemperatur aufzuwenden, durch welche die Herstellungskosten unnötig verteuert würden. Thone, welche bei einem genügenden Gehalt an Thonerde (Thonsubstanz) feuerfest sind und sich bei niederer Temperatur dichtbrennen, findet man in vorzüglicher Qualität im Westerwald, bei Klingenberg am Main, in Hettenleidelheim in der Pfalz und an anderen Orten. Auch für die Herstellung mancher anderer Chamotteartikel, wie z. B. der Glashäfen, kommt es darauf an, Materialien der eben geschilderten Art zu verwenden, weil es erforderlich ist, daß der Scherben der Häfen möglichst dicht ist, damit dem schmelzenden Glase das Eindringen in die Poren erschwert wird.

Ganz andere Materialien verwendet man für die Herstellung der sogenannten *sauren Steine*, Dinas- oder Silikatsteine. Die Dinassteine enthalten mindestens 90%, wenn es hoch kommt, sogar bis 98% Kieselsäure und als Bindemittel nicht Thon, sondern Kalk. Bei ihrer Herstellung ist es erforderlich, möglichst reinen Quarz, welcher vor der Verarbeitung scharf geglüht wird und einmal gebrannt sich bei hoher Temperatur nicht mehr als 0,1 % ausdehnen darf, mittels Kalkmilch und irgend einem Klebstoff formbar zu machen. Der Kalkzusatz hat dabei den Zweck, mit dem Quarz beim Brennen zu versintern und so gewissermaßen für das gebrannte Erzeugnis als Kitt zu dienen. Da bei den Dinassteinen die Hauptschwierigkeit der Fabrikation in der Formung der unplastischen Massen besteht, ihre Feuerfestigkeit aber durch Zusatz von Thon verringert werden würde, so hat Seger vorgeschlagen, als Bindemittel Gips unter Zusatz von schwefelsaurer Thon-

erde oder schwefelsaurer Magnesia zu verwenden. Der Gips erhärtet bei Anwesenheit dieser Salze schwerer, bildet aber eine plastischere Masse, als wenn er mit reinem Wasser angemacht wird. Auch bewirkt er, daß das Gefüge des Steines beim Trocknen härter wird. Gibt man einen Zusatz von 2% Gips und 1% schwefelsaurer Thonerde zur Masse, so läßt sich dieselbe gut formen, und, vorausgesetzt man hätte reinen Quarz verwendet, so enthält der Stein nach dem Brennen 99% Kieselsäure, 0,85% Kalk und 0,15% Thonerde. Die Dinassteine werden hauptsächlich zum Wölben der Flammöfen und Glasschmelzöfen benutzt und haben als Gewölbesteine vor den Chamottesteinen den Vorzug, daß sie sich eher ausdehnen als schwinden, wodurch die Haltbarkeit des Gewölbes erhöht wird.

Für solche Prozesse, welche basischere Steine verlangen, als sie mittels Thon hergestellt werden könnten, und für sehr hohe Temperaturen sind aus Magnesia hergestellte Ziegel in Anwendung. Dieselben sind bei höchster Schwerschmelzbarkeit von solcher Härte, daß sie zur inneren Auskleidung des Eisenkastens und zur Bedeckung des Bodens der Hochöfen verwendet werden können. Sie leiden jedoch an dem Übelstand, daß sie im Feuer bröckelig werden und durch das Brennen an mechanischer Festigkeit verlieren. Man stellt daher in solchen Fällen, wo man besser keine kieseligen oder thonigen Materialien gebraucht, und Magnesiasteine ungeeignet sind, Steine aus gepreßtem Kohlenstoff, sogenannte Kohlenstoffsteine, her, die man gegenwärtig gleichfalls in bedeutender Härte anfertigen kann. Auch zum Bau der Hochöfen verwendet man neuerdings Kohlenstoffsteine, nachdem zuerst auf französischen Hütten ihre Gebrauchsfähigkeit für Hochofenbetrieb nachgewiesen ist. Ein bei der Anwendung von Kohlenstoffsteinen im Gestell des Hochofens zuweilen zu Tage tretender Übelstand ist der, daß das noch nicht mit Kohlenstoff gesättigte Roheisen häufig mit ihnen in Berührung kommt, ihnen den Kohlenstoff entzieht und sie zerstört, obwohl sie sonst von Schlacken nicht aufgelöst werden. Diejenigen Teile der Wandung, des Gestells und der Rast dagegen, welche nicht immer mit dem flüssigen Eisen in Berührung kommen, halten sich, wenn sie aus Kohlenstoffsteinen hergestellt sind, gut.

Ein anderes Fabrikat, welches in ausgedehntem Maße von Chamottefabriken hergestellt wird, sind die Graphittiegel, welche aus plastischen Thonen und Graphit hergestellt, ein vorzügliches Material für Tiegel zum Schmelzen von Metallen abgeben. Von den natürlich vorkommenden Graphiten verwendet man mit Vorliebe den Ceylongraphit und den Passauer Graphit, weil diese großblätterigen Qualitäten schwerer verbrennen, als die amorphen Graphite. Als Bindemittel dienen plastische feuerfeste Thone. Beim Brennen darf die Temperatur nicht allzu hoch gesteigert werden, da sonst Graphit in größeren Mengen verbrennen und dem Tiegel dadurch der Hauptvorzug, gegen Temperaturwechsel außerordentlich widerstandsfähig zu sein, genommen würde. Häufig werden die Graphittiegel, da sie sonst bei längerem Stehen leicht Feuchtigkeit auffaugen und infolgedessen beim Anwärmen zerspringen, noch mit einer Glasur oder einem Überzug von Asphalt, Harz oder dergleichen versehen, um sie gegen Aufnahme von Feuchtigkeit zu schützen. Vorzügliche Graphittiegel stellt man in Großalmerode in Hessen, in Düsseldorf am Rhein und in Passau her. Die sogenannten hessischen Tiegel, welche man gleichfalls in Großalmerode aus Großalmeroder plastischem Thon, einem vorzüglich feuerfesten Material, und scharfkörnigem Sande herstellt, sind weniger feuerbeständig als die Graphittiegel.

Bezüglich der Formgebung der aus Chamotte gefertigten Hohlgegenstände sei folgendes bemerkt. Während die Tiegel meist freihändig wie Töpfergeschirre auf der Scheibe geformt werden, stampft man Häfen, wie sie zum Schmelzen größerer Mengen von Glas und Metallen benutzt werden, in Holzformen um einen Kern in lederhartem Zustande ein. Andere Fabrikate, wie Kapseln für die Porzellanfabrikation werden entweder durch Handarbeit in Gipsformen hergestellt oder in möglichst steifem Zustande in Metallformen unter Anwendung mechanischen Antriebes (Kniehebelpresse) gepreßt. Diese letztere Herstellungsweise hat den Vorzug, daß die Masse beim Trocknen weniger stark schwindet und infolgedessen weniger leicht zum Verziehen und Reißen geneigt ist. Die Fabrikation der feuerfesten Steine betreffend, ist zu bemerken, daß dieselben vorzugsweise mit der Hand in Holzformen, wie wir es bei der Anfertigung von Handstrich-Mauer-

steinen gesehen haben, weniger oft auf der Strangpresse hergestellt werden, weil die Eisenteile der letzteren infolge der scharfen Chamottekörner sehr stark angegriffen werden.

Spezielle Fabrikate der Chamotteindustrie sind noch Gasretorten, Wasserleitungsröhren und Erzeugnisse für chemische Fabriken und landwirtschaftliche Gewerbe, wie Kühlschlangen, Destilliergefäße, säurefeste Hähne und Pumpen, Viehtröge und anderes mehr. Diese letzteren Fabrikate, namentlich die Wasserleitungsröhren und die Apparate für die chemische Großindustrie und für das landwirtschaftliche Gewerbe werden mit Glasuren versehen, als welche man häufig sogenannte Lehmglasuren oder Begußglasuren verwendet, indem man die getrockneten Fabrikate mit leicht schmelzbarem, eisenhaltigem und kalkreichem Lehm begießt oder auspinselt. Oder sie erhalten eine sogenannte Salzglasur, d. h. sie werden beim Brennen dem Prozeß des Salzens unterworfen, welcher darin besteht, daß man gegen das Ende des Brandes eine nach dem Ofeninhalt berechnete Quantität Kochsalz in verschiedenen Zeitabschnitten in die Feuerungen des Ofens hineinwirft und infolge der Zersetzung der Kochsalzdämpfe (Chlornatrium) eine Aufnahme von Alkali an der Oberfläche der Geschirre bewirkt. Das Alkali verbindet sich mit der Thonerde (Eisenoxyd) und der Kieselsäure der Geschirre zu einem Alkali-Thonerde-Silikat, welches bei der in Anwendung kommenden Temperatur schmilzt und die Geschirre in dickerer oder feinerer Lage als glasglänzende Glasur bedeckt. Diese durch Salzen erzeugte Glasur ist von großer Härte und Widerstandsfähigkeit gegen Säuren und Alkalien, da sie eine mit Kieselsäure stark gesättigte Verbindung darstellt.

Das Brennen der Chamotteerzeugnisse geschieht bei Temperaturen, welche erheblich höher sind, als diejenigen, welche zum Brennen von Mauerziegeln beansprucht werden. Während wir gesehen haben, daß das Brennen der Mauerziegel bei Temperaturen erfolgt, welche etwa zwischen den Segerkegeln 010 und 4 (950—1200 °C.) liegen, bedarf es zum Brennen der Chamottefabrikate Temperaturen, welche zwischen den Segerkegeln 8 und 20 (1290—1530 °C.) liegen. Das schwächste Feuer erhalten die mit Salzglasur, beziehungsweise mit Lehmglasur bedeckten Geräte, welche im allgemeinen bei einer Temperatur vom Segerkegel 8 bis höchstens 12 gargebrannt werden. Es leuchtet ein, daß man das Salzen der Waren nur in einem in sich geschlossenen Ofenraum vornehmen kann, welcher von allen Seiten zum Einbringen des Salzes zugänglich ist, weshalb man also in einem Ringofen, in welchem abteilungsweise verschiedene Fabrikate untergebracht und die Feuergase von einer Abteilung zur anderen geführt werden, von der Technik des Salzens absehen muß. Die nicht glasierten Fabrikate werden dagegen vorteilhaft in Öfen gebrannt, welche ähnlich wie die Hoffmannschen Ringöfen konstruiert, aber durch Zwischenwände in Kammern geteilt und mit Gas betrieben werden, so z. B. im Mendheimschen Gasofen. Die höchste Hitze ist erforderlich zum Brennen der Dinassteine, für welche meistens eine Temperatur von Segerkegel 20 und darüber in Anwendung kommt.

3. Töpferwaren und Steingut.

Ganz ähnliche Thone wie sie zur Ziegelfabrikation verwendet werden, dienen zur Herstellung der gewöhnlichen Töpferwaren, während zur Anfertigung von weißem Steingut schwerer schmelzbare weißbrennende Thone verwendet werden. Hierin beruht zur Zeit das eigentliche Unterscheidungsmittel zwischen gewöhnlicher Töpferware und feinem Steingut, denn alle die früheren Merkmale — für das eine: undurchsichtige Zinnglasur, für das andere: durchsichtige Glasuren u. dergl. mehr — sind durch eine verfeinerte Geschmacksrichtung und vermöge einer ausgiebigeren Beherrschung der Technik von dem einen Fabrikat auf das andere übertragen, so daß alle ursprünglich für das eine oder das andere charakteristischen Techniken jetzt auf beiden nebeneinander zu finden sind.

a) Töpferwaren (Fayence und Majolika).

Zur Herstellung der Töpferwaren verwendet man eisenschüssige, gelb oder rotbrennende Thonmergel mit 25—40 % kohlensaurem Kalk, welch letzterer denselben häufig durch Schlämmen einverleibt wird, wenn sie davon nicht genug enthalten. Die Vorbereitung der Töpferthone geschieht in ähnlicher Weise wie bei den Ziegelthonen beschrieben,

indem man sie durch Schlämmen von den etwa in ihnen enthaltenen schädlichen Beimengungen reinigt und die Thone nach dem Einsumpfen mit Sand und Kreide magert; ersterer dient lediglich als Magerungsmittel zur Minderung der Schwindung beim Trocknen und Brennen, die Kreide dagegen macht die Masse geeigneter, die Glasuren haarrissefrei zu tragen. Hat man alle gröberen Steine, Wurzeln u. dergl. aus der Masse entfernt, so gelangt sie in die Formstube.

Das Formen selbst geschieht der Hauptsache nach auf zweierlei Weise, nämlich entweder auf der Scheibe freihändig oder in Hohlformen. Die Behandlung auf der Scheibe dient für alle Gegenstände, welche in ihrer Grundform kreisrund sind. Der Arbeiter sitzt bei der Arbeit, wie es Abb. 161 zeigt, an einer beweglichen Scheibe, die mit ihrem Mittelpunkte auf einer senkrechten Welle befestigt ist. Oben dreht sich die Welle in einem Halseisen, unten aber in einer Pfanne, und nahe am Fuße ist eine zweite Scheibe, die Tretscheibe, befestigt. Auf diese setzt der Arbeiter seinen Fuß, und indem er ihn rasch von sich stößt

161. Arbeiten auf der Töpferscheibe.

oder nach sich zieht, versetzt er die untere Scheibe in eine drehende Bewegung, welcher die obere folgen muß. Auf die Mitte der letzteren legt der Töpfer — nehmen wir an, er wolle einen gewöhnlichen cylindrischen Topf machen — ein hinreichend großes Stück weichen Thones und versetzt die Scheibe in Umdrehung, während er die Hand gegen den Thon preßt, der dadurch die Form eines Cylinders annimmt. Indem er die beiden Daumen in die Mitte des Thones drückt und die Hand zu schließen strebt, bildet sich die innere kreisrunde Höhlung. Der Thon, der ausweichen muß, drängt sich nun nach oben, und so hebt sich allmählich die Wand cylindrisch in die Höhe, wie dies im Vordergrunde unseres Bildes dargestellt ist. Zuletzt wird der obere Rand umgelegt, das vorläufig vollendete Gefäß mit einem Draht von der Scheibe abgeschnitten und zum Trocknen zur Seite gestellt. Das ganze Verfahren geht ungemein schnell, und ein ziemlich großer Topf der Art kann so weit fast in derselben Zeit vollendet werden, die wir gebraucht haben, das Verfahren zu beschreiben.

Die Erfindung der Töpferscheibe ist eine sehr alte, und es hat den Anschein, als ob die verschiedenen Völker ganz selbständig darauf gekommen wären. Die Griechen schrieben die Erfindung dem Talos, einem um die Mitte des 12. Jahrhunderts v. Chr. lebenden

Handwerker, andere wieder dem Theodoros von Samos zu, wahrscheinlich aber dürfte die Vorrichtung ein noch bei weitem höheres Alter beanspruchen. Übrigens gibt es Völkerschaften, welche kreisrunde Gefäße von sehr bedeutenden Dimensionen ohne Anwendung der Scheibe herzustellen wissen, so die Arowaken und Warauen in Südamerika, von denen behauptet wird, daß sie bis 2 m hohe Töpfe lediglich durch spiralförmiges Aufeinanderlegen dünner, langer Thonwülste erzeugen.

Handwerkszeug ist für die gewöhnliche Arbeit an der Scheibe nicht viel mehr nötig als eine kleine Holzschiene zum Glätten und Ebenen der Flächen und ein Tasterzirkel, um die Dicken zu messen, obschon fast in allen Fällen das Augenmaß der sicherste Leiter des Arbeiters sein muß. Zur Seite steht ein Gefäß mit Wasser, um den Thon, wenn er bei der Arbeit zu trocken wird, ein wenig anzufeuchten und geschmeidiger zu machen. Ist die Form etwas zusammengesetzter, geschweift, wie z. B. bei dem zweiten Arbeiter im Hintergrunde, so muß allerdings die Hand auch noch die Hauptsache thun, aber es wird mit allerlei Stäbchen und Formhölzchen verschiedener Art nachgeholfen, um die schärferen Umrisse zu geben, bis auch hier die gewünschte Gestalt hervorgebracht worden ist. In der Regel bedienen sich die Töpfer für die Vollendung ihrer Gefäße hölzerner Schablonen, Leeren, das sind kleine Brettchen, die genau nach dem Durchschnitt der verlangten Form ausgeschnitten sind. An die bereits im Rohen vorgeformte, schnell rotierende, weiche Thonmasse recht genau angedrückt, zwingen sie diese, ihre Umrisse anzunehmen. So werden Vasen, Flaschen und einfache Teller und Schüsseln gemacht. Für die gewöhnlichen Gefäße dient ein vertikales Stativ mit verstellbaren horizontalen Stäbchen als Maßstab und Leere.

Sollen die Sachen mit Henkeln versehen werden, so bildet der Arbeiter dieselben aus freier Hand und klebt sie mit etwas verdünntem Thon (sogenanntem Schlicker) an das fertige Gefäß an. Ausgußöffnungen, sogenannte Schneppen, Schnauzen, entstehen dadurch, daß der Arbeiter gegen den Rand des fertigen Gefäßes den Daumen und den Mittelfinger der einen Hand legt und mit dem Zeigefinger den Rand zwischen beide hineindrückt.

Das bis jetzt beschriebene Arbeiten an der Scheibe liefert aber nur kreisrunde Gegenstände und auch diese nur ganz glatt. Sobald es sich um ovale oder eckige oder auch runde, verzierte Formen handelt, tritt ein anderes Verfahren ein, nämlich das Drücken in Formen, die Formerei. Ovale Gefäße werden zwar auch noch auf der Scheibe hergestellt, welche zu diesem Zwecke eine Einrichtung hat wie das Ovalwerk der Drehbank, oft aber auch, und für eckige und dergleichen Gegenstände ausnahmslos, wird der weiche Thon in Gipsformen gepreßt, in denen die Oberfläche des darzustellenden Gegenstandes vertieft ausgearbeitet ist. Hierzu wird er erst auf einer Tafel mit Walze, wie dies im Hintergrunde unseres Bildes (Abb. 162) geschieht, in Platten ausgearbeitet, ungefähr so, wie der Bäcker den Kuchenteig macht, und dann eine solche Platte in oder über die Form gelegt, an die Unterlage überall fest angedrückt, wo zu viel ist, abgeschnitten, wo zu wenig ist, zugesetzt und mit weicher Masse angeklebt, so daß die Form ganz ausgefüllt wird. Ist nur eine Seite gemustert, so wird die andere mit Bossierhölzern oder der Hand geebnet; sind aber beide Seiten mit reliefartiger Musterung versehen, so muß auch die Form zwei Teile haben, einen äußeren und einen inneren, zwischen welche das Thonblatt eingepreßt wird. Für sehr zusammengesetzte Gegenstände besteht die Form auch wohl aus mehr als zwei Stücken, da man sie sonst nicht wieder von dem geformten Gegenstande würde entfernen können. Hervorspringende Verzierungen u. dergl. werden besonders geformt und angesetzt. Die Platten zu Ofenkacheln u. dergl. werden wie die Lehmziegel von einem würfelartig geformten Thonblock mit einem dünnen Metalldraht abgeschnitten.

Die Formen, in welche die Thonmasse gedrückt wird, sind meistens von Gips, dessen Porosität das im Thon enthaltene Wasser aufsaugt und dadurch ein leichtes Ablösen von der Form gestattet; für manche Zwecke hat man auch Formen von Holz, Stein oder Metall.

Die geformten Gegenstände müssen an der Luft getrocknet werden; dadurch erlangen sie so viel Festigkeit, daß sie zum Brennen in den Ofen transportiert werden können; dieses gibt ihnen erst die volle Härte. Sollen die Gefäße indessen zur Aufnahme von

Flüssigkeiten dienen, so muß, ehe sie gebrannt werden können, noch für die Glasur gesorgt werden.

Die Glasur wird in Form eines dünnen Breies auf die lufttrockenen Gefäße aufgegossen, mit einem Pinsel aufgestrichen, oder man taucht die letzteren gleich in den Glasurbrei ein. Ist darauf die Ware abermals trocken geworden, so wird sie gebrannt, und zwar werden gewöhnliche Töpferwaren auf diese Weise in einem Brande fertig; feinere Gefäße jedoch werden zweimal gebrannt; der erste Brand hat den Zweck, sie weniger zerbrechlich und für die Glasur aufnahmefähiger zu machen, der zweite Brand dient zum Aufbrennen der Glasur, die nach dem ersten Brand aufgetragen wird; es ist dies der sogenannte „Glattbrand", während der erste Brand der „Verglühbrand" oder „Schrühbrand" heißt.

Die Masse für gewöhnliche Glasur besteht fast immer aus einem Gemenge von Bleioxyd (Glätte) mit Thon, Lehm oder Sand. Will man eine farbige Glasur, so hat man

162. Das Formen.

noch die färbende Substanz zuzusetzen. Alle Bestandteile werden in Trommelmühlen oder zwischen einem Paar Mühlsteinen unter Wasserzusatz aufs feinste zusammengemahlen. Als Farbemittel dienen verschiedene Metallverbindungen, z. B. Schmalte oder Kobaltoxyd für Blau, Eisenvitriol oder Eisenoxyd für Rot, Schwefelantimon für Gelb, Kupferasche für Grün, Braunstein für Schwarz u. s. w.

Das Wesen und die Wirkung der Glasur besteht darin, daß sie in der Hitze in Fluß gerät und sich in eine Art Glas verwandelt, welches die Poren des Thones oberflächlich ausfüllt und eine glatte Oberfläche erzeugt. Ist das Schmelzmittel Bleioxyd, so bildet sich Bleisilikat (kieselsaures Bleioxyd) als leicht schmelzender glasiger Körper. Je stärker der Bleizusatz, desto leichtflüssiger wird die Glasur, desto weniger Hitze ist also zu ihrer Erzeugung nötig; sie wird aber auch in demselben Grade minder hart und dauerhaft. Eine solche leichtflüssige Glasur erhält zuweilen mit der Zeit eine Unzahl feiner Sprünge (Haarrisse) und ist bei unbedachter Zusammensetzung geeignet, an saure Flüssigkeiten und Fette, die in die Gefäße gebracht werden, Blei abzugeben und sie dadurch zu vergiften. Man hat sich daher schon vielfach die Aufgabe gestellt, das Blei als gesundheitsschädlich ganz aus den Glasuren zu verbannen, und es werden häufig sogenannte Sanitätsgeschirre aus-

geboten, die eben durch dieſen Namen andeuten ſollen, daß ſie bleifrei ſind. Namentlich iſt es Seger gelungen, leichtflüſſige bleifreie Glaſuren herzuſtellen, welche neben Alkali und Kalk vor allen Dingen Borſäure als Flußmittel enthalten und nicht giftig ſind. Im allgemeinen aber iſt das Blei nach wie vor in Gebrauch geblieben, und wenn die Bleiglaſur nur hart genug gemacht wird, ſo iſt wohl auch nicht viel von ihr zu fürchten. Eher wäre den Töpfern ſelbſt die Abſchaffung des Bleioxyds zu gönnen, da deren Geſundheit durch Einatmen des bleihaltigen Staubes ſchwer leidet. Der Grund, warum man immer wieder noch Bleiglaſuren anwendet, liegt erſtens in dem ſtarren Feſthalten der Töpfer an dem Althergebrachten, zweitens darin, daß die Borſäureglaſuren ziemlich teuer ſind. Bis zu einem gewiſſen Grade wird das Arbeiten mit Bleiglaſuren durch vorheriges Einſchmelzen oder Fritten weniger gefahrvoll für die Arbeiter (Erkrankungen an Bleikolik) gemacht; die geſchmolzenen Glaſuren werden dann in heißem Zuſtande in Waſſer abgeſchreckt und darauf gemahlen. An manchen Orten, ſo z. B. in Berlin iſt es Polizeivorſchrift, die Bleiglaſuren nur in geſchmolzenem Zuſtande zu verwenden. Statt der Bleiglätte (Bleioxyd), kommt häufig Bleiglanz, das ſogenannte Glaſurerz, zur An-

168. Kühlbecken von Delfter Fayence mit fünffarbiger Scharffeuerbemalung.
(Jetzt im Hamburger Muſeum für Kunſt und Gewerbe.)

wendung. Da dieſes Mineral aus Schwefel und Blei beſteht und der erſtere Beſtandteil in der Hitze beim Aufſchmelzen der Glaſur wegbrennt, ſo iſt das Reſultat das nämliche wie bei der Glätte.

Bezüglich der Ofenfabrikation, die einen Hauptzweig der Töpferei bildet, iſt zu bemerken, daß man zweierlei Kachelfabrikate unterſcheidet: 1. Kacheln aus kalkreichem Thon (Berlin-Veltener Kacheln) und 2. Chamottekacheln aus kalkarmem mit Chamotte gemagertem Thon (Meißener Kacheln). Erſtere eignen ſich beſtens für Geſtaltung von Erzeugniſſen mit weißer zinnhaltiger Schmelzglaſur, letztere tragen die Zinnglaſur nicht haarriſſefrei. Um aus dieſen weiße Zimmeröfen herzuſtellen, müſſen die nach dem Brennen gelblich grau ausſehenden Chamottekacheln in halbtrockenem Zuſtande mit einem Beguß von weißbrennendem Thon verſehen werden, welcher ſich beim Trocknen und Brennen der Kacheln eng mit der Maſſe derſelben verbindet; die weiße Begußfläche wird alsdann mit einer durchſichtigen farbloſen Glaſur überzogen, welche der Kachel den Anſchein eines mit Zinnglaſur bedeckten Stückes geben ſoll. Bei der heutzutage beliebten Herſtellung dunkelfarbiger Kacheln, ſogenannter „altdeutſcher Öfen", fällt die Anwendung von Beguß fort; man macht derartige Öfen ſowohl aus kalkhaltigem Veltener Thon — Velten iſt ein in der Nähe von Berlin an der Strecke nach Oranienburg gelegener Töpferort — wie aus kalkfreiem, mit Chamotte verſetztem Meißener Thon. Bei der Verarbeitung der Chamottethonmaſſen zu Kacheln ſei indeſſen noch erwähnt, daß die Her-

stellung dieser Kacheln mit größeren Schwierigkeiten verknüpft ist, als diejenige der Kacheln aus kalkreichem Material. Da die Chamottemassen eine ziemlich erhebliche Menge grobkörnigen Materials enthalten, so würden die Gipsformen sich sehr schnell abnutzen, wenn man diese Masse direkt in die Form brächte; man legt die Form daher zunächst mit einer ähnlich zusammengesetzten, aber feinkörnigeren Vorformmasse in dünner Lage aus und bringt dann erst die eigentliche Hauptmasse oder Hinterformmasse in die Gipsform hinein. Hierdurch wird sowohl die Gipsform geschont, als auch eine glattere, in den Konturen schärfer ausgeprägte Oberfläche der Kachel erzielt.

Das Brennen der Töpfereierzeugnisse geschieht in sogenannten „liegenden" Öfen mit horizontaler Zugrichtung, wie wir solche in Abb. 80 unter dem Namen „Kasseler Öfen" veranschaulicht haben; meistens liegen deren mehrere Öfen nebeneinander, zuweilen sind dieselben auch zweistöckig übereinander angeordnet und dann so eingerichtet, daß die Flamme aus dem unteren Ofen nicht direkt in den Schornstein geführt wird, sondern den oberen Ofen vorerst in der Längsrichtung durchstreicht. Infolge dieser Anordnung wird an Brennmaterial gespart; auch vereinigen sich, wo mehrere Öfen nebeneinander betrieben werden, die abziehenden Feuergase zweckmäßig allesamt in einem gemeinsamen Fuchs, so daß nur ein Schornstein nötig ist. Zuweilen ist an diesen Öfen auch die Abänderung getroffen, daß der von den Kacheln ausgefüllte Raum rings von Schutzwänden umgeben ist, damit die Feuergase zu den Waren keinen direkten Zutritt haben und die glasierten Geschirre nicht mit Anflügen durch die Flugasche behaftet werden. Meistens werden glasierte und unglasierte (später noch eventuell mit Glasur zu versehende) Geschirre nebeneinander in einem Ofen gebrannt; hierbei ist zu berücksichtigen, daß die glasierten Geschirre mit den glasierten Flächen zu einander gekehrt gebrannt werden, da sonst leicht Erblindungen der glasierten Flächen dadurch verursacht werden, daß in der Hitze die unglasierten Geschirre gewisse aus den Bleiglasuren sich verflüchtigenden Bestandteile begierig aufsaugen und hierdurch Entglasungserscheinungen (Erblindungen) herbeigeführt werden. Die in einem Töpferofen herrschende Temperatur entspricht etwa Silberschmelzhitze oder Segerkegel 010 d. h. 950—970° C.

164. Terrakottafigur aus der Manufaktur von Rießner, Stellmacher & Kessel in Turn-Teplitz.

Deutschland, England und Frankreich nehmen, wie in allen anderen Gewerben, auch in der Töpferei den Vorrang vor allen Ländern Europas ein, und besonders die Kachelofenfabrikation hat in den letzten Decennien viel Neues geschaffen und sich befleißigt, durch Verbesserungen der Feuerungen mittels Chamotteeinsätzen eine größere Dauerhaftigkeit der Öfen und eine bessere Verbrennung und durch geschicktere Anordnung der Züge eine bessere Ventilation der Zimmer herbeizuführen. Eine der interessantesten Töpferstätten der Neuzeit ist der Ort Velten bei Berlin, woselbst zur Zeit in 35 Ofenfabriken mit 180 Brennöfen — 25 dieser Fabriken arbeiten mit Dampfkraft — über 2000 Arbeiter beschäftigt werden. Trotzdem Velten mit dem nahen Berlin durch die Eisenbahn verbunden ist, bedürfen die Fabriken 140 Gespanne zum Abfahren der Erzeugnisse. Velten, das im Jahre 1859 nur 688 Einwohner zählte, hat jetzt eine Einwohnerzahl von über 7000 Seelen, darunter ungefähr 2000 Arbeiter, von denen die Wochenarbeiter

12—18 Mark und die Stückarbeiter 18—35 Mark verdienen. Der am Ort selbst gefundene Töpferthon ist ein vorzügliches Material, aus dem weiße und farbige Öfen gefertigt werden; an weißen Öfen, die ja der größeren Wohlfeilheit halber am meisten begehrt werden, werden in Velten jährlich gegen 60 000 Stück gefertigt. Der Absatz der Fabrikate beschränkt sich nicht nur auf Berlin und Deutschland, sondern richtet sich in ausgedehntem Maße auch nach Rußland, Österreich und Holland. Abgesehen von dem Veltener Distrikte werden vorzügliche Öfen noch in Meißen, in Thüringen und an anderen Orten Deutschlands gemacht, wenngleich auch nirgends eine Ortschaft mit gleich großer Produktivität besteht.

165. Terrakottafigur aus der Manufaktur von Kießner, Stellmacher & Kessel in Turn-Teplitz.

Ein von Kennern sehr geschätztes und darum im Preise sehr hoch stehendes Erzeugnis der Töpferei sind die Delfter Fayencen, die heutigestags mit großer Meisterschaft in Holland von Toft und Labouchère hergestellt, aber auch an anderen Orten in Belgien, Frankreich und Deutschland mit mehr oder weniger Glück nachgeahmt werden. Der Scherben, welcher meist gelb aber auch weißlich ist, wird von einer schwach grünlichblau getönten undurchsichtigen Zinnglasur bedeckt, auf welcher farbensatte, meist mit Kobaltblau gemalte Szenen aus dem holländischen Volksleben, Köpfe von Rubens und Rembrandt, holländische Landschaften und Ähnliches in meisterhafter Ausführung dargestellt sind. Diese Fayencen, welche als Vasen, Schalen oder auf Platten gemalt, in den Handel kommen, gehören mit zu dem Schönsten, was die moderne Keramik erzeugt.

Zum Töpfergeschirr gehört auch das Terralith oder Siderolith, eine nicht sehr hochwertige Ware, welche mit bunten Lackfarben oder mit Bronzefirniß bemalt ist. Derartige Erzeugnisse werden besonders als Dekorationsschalen, Urnen und Figuren ausgeboten. Auch die unglasierten, aus gelbem oder rotem, häufig ziemlich feuerfestem Thon hergestellten Kühlkrüge „Alcarrazas" und Pilgerflaschen gehören zu den Töpfereierzeugnissen, ebenso wie die sogenannten Terrakotten, welche als Figürchen und Nippes mannigfache Bewunderung erregen.

Schon die alten Griechen excellierten nicht nur in der Kunst der Herstellung großer und schöner Gefäße aus Terrakotta, welche sie entweder glasierten oder zum Teil reich durch Bemalung ornamentierten, sie haben auch auf dem Gebiete der Genrebildnerei Wundervolles geleistet; die durch Ausgrabungen uns wiedergewonnenen Figuren von Tanagra entzücken uns heute noch durch ihre Wahrheit und Grazie. Die Römer standen ihnen nicht nach, sie verstanden es vorzüglich, die Thone kunstvoll zu bearbeiten und solche Rohstoffe auszuwählen, welche nach dem Brande tief korallenrot erscheinen. In

der Zeit der Renaissance spielten in der Architektur plastische Ornamente, Füllungen mit figürlichen Darstellungen, eine große Rolle, und die zahlreichen Werke, welche von Luca della Robbia und aus seiner Schule sich noch in Toscana finden, beweisen, daß die größten Künstler der Zeit das Material für würdig hielten, um mit dem Marmor zu rivalisieren. Die späteren dieser Arbeiten sind farbig glasiert und nähern sich damit schon den modernen Erzeugnissen, die wir in dem vorigen Abschnitt besprochen und als Bauterracotta bezeichnet haben.

Kehren wir zu unserer Betrachtung zurück, so läßt sich nicht leugnen, daß auch heutzutage Meisterhaftes in Terrakotten geleistet wird; man modelliert dieselben entweder mit Hilfe von Formen oder aus freier Hand, welch letztere Art natürlich voraussetzt, daß der bildende Künstler mit der Behandlung thoniger Massen innig vertraut ist. Dann aber ist er im stande, skizzenhaften Entwürfen eine große Dauer zu geben, ohne den Reiz der Ursprünglichkeit zu verwischen. Zu welchem Kunstwerk ein an und für sich geringer Stoff erhoben werden kann, wird der begreifen, welcher die durch Witz und Laune der Erfindung, Grazie der Darstellung und Feinheit der Ausführung hinreißenden Possen dieser Künstler gesehen hat. Und wiederum muß man gestehen, daß in keinem anderen Material, weder in Holz noch in Elfenbein, Bronze oder Silber, es möglich gewesen wäre, die ursprüngliche Idee des Künstlers in gleicher Vollendung zum

166. Tanagrafiguren.

Ausdruck zu bringen, wie es hier in gewöhnlichem Thone geschieht. Vortreffliche Terrakotten werden in Italien und Frankreich gemacht, und in Deutschland begründete die Fabrik von Ernst March Söhne in Charlottenburg ihren Weltruf durch Herstellung mustergültiger Fabrikate. Vortrefflich sind auch die Arbeiten, welche die dänischen Kunstwerkstätten von Bornholm 1888 auf der Ausstellung in Kopenhagen und 1897 in Stockholm zeigten, namentlich ragten unter diesen die Terrakotten von Jörgensen durch ihre Anmut und Keckheit in der Gestaltung und Sauberkeit in der Ausführung hervor. In Wien leistet Goldscheider Mustergültiges auf diesem Gebiete.

b) Steingut.

Nächst dem Porzellan ist das Steingut, jene undurchsichtige, weiße schwer schmelzbare, harte und klingende Masse von erdigem Bruch, welche der Engländer „flint ware“ oder „earthern ware“, der Franzose „fayence anglaise“ oder „fayence fine“, der Deutsche „englisches Steingut“ nennt, das edelste Erzeugnis der Keramik. Die Bezeichnung englisches Steingut verdankt es dem Umstande, daß diese Fabrikation in England zuerst gepflegt wurde und von hier ausging. Dieser Umstand ist nicht etwa einer besonderen technischen oder künstlerischen Begabung zuzuschreiben, die den geschäftskundigen Engländer vor anderen Nationen auszeichnete, sondern vielmehr dem Reichtum des Landes an vorzüglichen weißbrennenden Thonen, an Flint, Feuerstein und ergiebigen Kohlenlagern, die ein ebenso gutes wie billiges Brennmaterial zu liefern im stande waren. Wie wir schon in der geschichtlichen Einleitung gesehen haben, war England dasjenige

Land in Europa, welches in der Herstellung von Thonwaren bis ins späte Mittelalter hinein in letzter Reihe unter den Nationen stand, so daß seine Kavaliere noch zur Zeit der Königin Elisabeth dem geißelnden Spott der Franzosen nicht entgehen konnten. Erst im 18. Jahrhundert unter dem Einfluß Wedgwoods begann es sich dort zu regen, und jetzt hat sich die Fabrikation des Steinzeuges weit über die Grenzen Englands hinaus verbreitet, und man fabriziert auf dem Festland eine ebenso gute Ware wie dort.

Für die Entwickelung der Steinzeugindustrie auf dem Festlande war vor allen Dingen erst das Aufschließen geeigneter Thonlager nötig, da das Steinzeug zu seiner Herstellung sehr bildsamer weißbrennender feuerbeständiger Thone bedarf. Seit einer Reihe von Jahren werden diese Thone in vorzüglicher Qualität auch in Deutschland gefunden: in Colditz, Salzmünde, Löthain, Ebernhahn, Vallendar u. s. w. Diese Thone sind meist mehr oder minder mit organischen Bestandteilen, zum Teil mit Kohle durchsetzt und haben im ungebrannten Zustande dann nicht das weiße Aussehen der Kaoline; der Engländer nennt sie daher zum Unterschied von dem China clay oder Kaolin „blue clay". Diese Thone kommen indessen auch in reiner Form ohne verunreinigende Mineralien vor; müssen sie geschlämmt werden, so geschieht es meist an dem Fundorte selbst. Die Mehrzahl der Steinzeugfabriken versetzt diese plastischen Thone zur Magerung der Masse mit weniger bildsamem Kaolin; enthält die Mischung nicht schon genügend Quarz, so muß solcher noch zugesetzt werden, um den Massen neben einem Gehalt von 50—65 Thonsubstanz d. h. kieselsaurer Thonerde einen Gehalt von 30—40 % Quarz zu geben. Man unterscheidet kalkfreies oder Feldspatsteinzeug, welches außer der Thonsubstanz und dem Quarz noch etwa 5 % Feldspat enthält, und Kalksteinzeug, welches anstatt des Feldspates ungefähr 5—10 % kohlensauren Kalk enthält. Ersteres bedarf einer höheren Garbrandtemperatur, letzteres ist leichter, zerbrechlicher und weniger scharf gebrannt.

167. Vase von Steinzeug, weiß, grau, manganbraun marmoriert mit weißen vergoldeten Auflagen. Kassel, Steitzische Vasenfabrik (Ende des 18. Jahrh.), jetzt im Hamburger Museum für Kunst und Gewerbe.

Das Formen des Steinzeugs geschieht ebenfalls wie bei dem Töpfergeschirr auf der Scheibe, nur daß man die Scheiben hier meistens mit Dampf treibt, um bei einer größeren Gleichartigkeit in der Form der Gebrauchsgeschirre die Leistungsfähigkeit des betreffenden Drehers, der bei dem Arbeiten mit der Maschinenscheibe die Kraft seiner Beine spart, zu erhöhen.

Die getrockneten Erzeugnisse werden in runden Öfen mit aufsteigender oder überschlagender Flamme (vgl. später Abb. 177 im Artikel „Porzellan") einmal unglasiert bei ziemlich hoher Hitze (etwa Segerkegel 3—10), dann glasiert bei niederer Temperatur (etwa Segerkegel 08—1) gebrannt. Den ersten Brand nennt man den „Biskuit-" oder „Schrühbrand", den zweiten den „Glatt-" oder „Glasurbrand". Da die zu verschrühenden Geschirre unglasiert sind, und das Steinzeug beim Brennen nicht erweicht, so setzt man eine größere Anzahl von Tellern oder Schalen aufeinander oder von Bechern ineinander, um den Brennraum nach Möglichkeit auszunutzen und die Brennkosten zu ermäßigen. Die verschrühten Steinzeuggeschirre werden vor dem Glasieren farbig bemalt oder bedruckt, dann die Farbe bei beginnender Rotglut angefrittet und nun das Ganze glasiert und bei niedrigerem Feuer, als es der Schrühbrand war, glatt gebrannt. Die Unterglasurfarben bestehen aus einem oder mehreren färbenden Metalloxyden, wie Kobaltoxyd, Kupferoxyd, Manganoxyd, Eisenoxyd oder Nitraten, Chloriden, Sulfaten, Phosphaten, Arsenaten oder Karbonaten dieser oder ähnlicher Metalle, denen als Verdünnungs-

und Befestigungsmittel Quarz, Feldspat, Steingutmasse, Thonerde, Steingutglasur oder Borsäure zugemischt sind. Diese Körper werden mit den Metalloxyden bezw. mit den Metallsalzen auf der Naßmühle fein gemahlen, dann getrocknet, bei möglichst starkem Feuer gefrittet und wieder feingemahlen und sind dann zum Gebrauch fertig.

Da die Glasuren bleiisch-alkalisch oder borsäurehaltig-alkalisch sind, so sind sie leicht schmelzbar; gewöhnlich bestehen sie aus Sand, Kaolin, Feldspat, Marmor (Kreide oder Kalkspat), Baryumkarbonat (Witherit), Mennige (Glätte), Borax oder Borsäure in wechselnden Mengen. Da die Bleiglasuren sowohl die Gesundheit der mit ihnen umgehenden Arbeiter benachteiligen, sowie auch nach dem Aufschmelzen auf die Geschirre an Speisen und Getränke noch leicht Blei abgeben und diese daher für den menschlichen Organismus unzuträglich machen, so hat die deutsche Reichsgesetzgebung auf gesetzlichem Wege die an eine Bleiglasur zu stellenden Anforderungen geregelt; hiernach dürfen mit Bleiglasur versehene Gerätschaften mit 4 % Essigsäure $^1/_2$ Stunde lang gekocht an diese kein Blei abgeben. Auch für die mit Bleiglasuren in den Fabriken umgehenden Arbeiter sind bestimmte Vorschriften zur Vermeidung des Einatmens von Bleistaub erlassen, und es ist der Gebrauch von Respiratoren vorgeschrieben worden. Um die Anwendung von Bleiglasuren für Gebrauchsgeschirre ganz zu umgehen, hat Seger eingehende Studien gemacht und mit Erfolg Glasuren eingeführt, welche eine genügende Leichtschmelzbarkeit besitzen und nur aus Kaolin, Feldspat, Marmor, Quarz und Borsäure bestehen. Diese Glasuren, welche in geschmolzenem Zustande eine molekulare Zusammensetzung haben von:

$$\left.\begin{matrix}0{,}2\text{—}0{,}6\ K\,Na\,O\\0{,}8\text{—}0{,}4\ Ca\,O\end{matrix}\right\}\ 0{,}5\text{—}0{,}7\ Al_2O_3 + 4\text{—}5{,}4\ SiO_2 + 1\ B_2O_3$$

werden nach innigem Mischen der trocken abgewogenen Rohmaterialien in einem Wannenofen oder in Chamottekapseln im Schrühofen geschmolzen, dann zerkleinert, feingemahlen und nun zum Glasieren verwendet. Nach dem Aufschmelzen auf den Geschirren sind sie außerordentlich hart, geben dem Steingut ein porzellanähnliches Aussehen und werden wegen ihres hohen Thonerdegehaltes selten haarrissig.

Für künstlerische Erzeugnisse sind sie indessen nicht in demselben Maße geeignet, da sie die Unterglasurfarben nicht so lebhaft entwickeln, wie alkalireiche und bleihaltige Glasuren. Eine Eigentümlichkeit dieser letzteren Glasuren besteht in der Neigung derselben, auf den gebrannten Erzeugnissen früher oder später haarrissig zu werden. Seger hat nachgewiesen, daß man diesen Übelstand entweder durch Abänderung der Zusammensetzung des Scherbens oder der Glasur beseitigen kann. Durch Abänderung des Scherbens wird dies erreicht 1. durch stärkeres Brennen desselben im Biskuitfeuer, 2. durch feinere Mahlung des im Scherben enthaltenen Quarzes, 3. durch Verminderung des Thonsubstanzgehaltes zu gunsten des Quarzgehaltes, 4. unter Beibehaltung der Thonsubstanzmenge durch Erhöhung der Thonsubstanz aus plastischem Thon auf Kosten der Thonsubstanz aus Kaolin, 5. durch Verminderung des Feldspatgehaltes zu gunsten des Quarz- oder Thonsubstanzgehaltes. Unter Beibehaltung des Scherbens wird dies erreicht: 1. durch Erhöhung des Schmelzpunktes der Glasur durch Sand, Feldspat- oder Thonzusatz, 2. unter Beibehaltung der Säuerungsstufe der Glasur durch Erhöhung des Borsäuregehaltes auf Kosten des Kieselsäuregehaltes, 3. durch Ersatz der Flußmittel mit hohem Molekulargewicht durch solche mit geringerem. Wird die Glasur nicht haarrissig, sondern springt sie ab, so ist das entgegengesetzte Verfahren einzuschlagen. Neigt eine Glasur zum Erblinden (Entglasen) durch Ausscheidung krystallinischer Verbindungen aus der Glasur, so ist sie durch Erhöhung des Flußmittel- oder Borsäuregehaltes leichtflüssiger zu machen, oder Thonerde als Bestandteil in dieselbe einzuführen bezw. der Thonerdegehalt zu erhöhen.

Will man außer der farblosen Glasur farbige Glasuren anwenden, so stellt man am besten farbige Fritten von derselben Zusammensetzung wie die weiße Glasur her, indem man in ihnen die Hälfte der Flußmittel durch eine gleichwertige Menge färbender Metalloxyde ersetzt und die farbigen Fritten mit der mehrfachen Menge der farblosen Glasur verdünnt, oder vor der Verdünnung mit farbloser Glasur die Farbfritten zur Hervorbringung von Mischtönen noch unter sich mengt. Eigentümlich ist dabei, daß durch Kupfer-

oxyd bleifreie Glasuren dunkelblau, bleihaltige moosgrün, durch Manganoxyd bleifreie Glasuren violett, bleihaltige braun gefärbt werden. Die auf diese Weise hergestellten farbigen Glasuren besitzen nahezu denselben Schmelzpunkt wie die entsprechend zusammengesetzten farblosen Schmelzen; trotzdem kann man sie nebeneinander nicht auf demselben Scherben verwenden, ohne daß sie infolge der Dünnflüssigkeit, die die Steingutglasuren beim Brennen erlangen, ineinander laufen würden. Um dies zu vermeiden, müssen die verschiedenen Glasuren durch hervorstehende Konturen, welche die betreffenden Felder einnehmen, nach Art des Email cloissonné eingefaßt werden. Diese hochaufgetragenen Konturen, sogenannte Pasten, bestehen aus 15—25% farbloser oder farbiger Glasur und 55—75% der betreffenden Steingutmasse. Mit Vorliebe sind dieselben auf den Arbeiten Th. Decks (Paris) verwendet worden; aber auch Seger in Gemeinschaft mit dem Maler Timm und andere, so z. B. die Rörstrand-Fabrik bei Stockholm, die sich auf der Ausstellung 1897 daselbst durch außerordentlich schöne Arbeiten hervorthat, sind ihm hierin gefolgt. Seger und Timm suchten aber dieselben Effekte, die Deck mit bleiisch-alkalischen Glasuren erreichte, durch Borsäure-Baryt-Glasuren zu erreichen, was auch zum Teil mit Erfolg geschehen ist.

Ein eigenartiger Effekt wird neuerdings auf Steingutgeschirren und ähnlichen Fabrikaten auch durch die mit Krystallflimmern durchsetzten Aventuriuglasuren erzielt, um deren Herstellung sich Mäckler, Petrik u. a. in anerkennenswerter Weise verdient gemacht haben.

Eine besondere Dekorationsweise des Steinguts bildet das Flowing blue; zur Herstellung derselben wird das Geschirr wie gewöhnlich mit blauer Farbe bedruckt und glasiert und die Kapseln mit einem Gemenge von Chlorblei, Calciumchlorid und Thon ausgestrichen. Die sich verflüchtigenden Chloride verwandeln das Kobaltoxyd in Chlorid, dieses verflüchtigt sich zum Teil und setzt sich dabei wolkig auf den Geschirren ab.

Die Massenproduktion der Tafelgeschirre, wie sie ausgezeichnet von Villeroy & Boch in Dresden, in Wächtersbach, von Guillaume und F. A. Mehlem in Bonn, von Utzschneider in Saargemünd u. v. a. geübt wird, macht vielfach von dem Verfahren des Überdrucks Gebrauch. Sollen Kupferstiche oder Lithographien auf solche Weise abgedruckt werden, so bestreicht man die Druckplatte statt mit Firnißfarbe, mit einer aus feingemahlenem, dunkelblauem, braunem, rotem, grauem oder dergl. Glasfluß und Öl präparierten Farbe, drückt sie auf Seidenpapier ab und legt dieses mit der bedruckten Seite auf den zu verzierenden Gegenstand. Die schon verschrühte Masse saugt die Farbe begierig ein, und das Papier wird entweder nach dem Anfeuchten mit einem Schwamme abgezogen oder durch Ausglühen des bedruckten Gegenstandes zerstört; sind die unglasierten Geschirre sehr stark saugend, so werden sie vor dem Aufbringen der Farbe mit Wasser, Glycerin, Firnis u. dergl. behandelt, wodurch ihre Saugefähigkeit abgeschwächt wird. Dies ist nötig, weil das Klebemittel der Farbe sonst von dem Scherben zu schnell eingesaugt und die Farbe dann beim Abziehen mit fortgenommen wird. Hierauf wird der Gegenstand glasiert und gebrannt wie die übrigen Sachen. Mehrfarbige Darstellungen werden entweder durch Ausmalen der übergedruckten Zeichnung mit dem Pinsel oder durch Überdruck von sogenannten Abziehbildern, die gleich in den betreffenden Farben ausgeführt sind, dargestellt.

Außer der farbigen Unterglasurdekoration durch Metallfarben verwendet man zuweilen auch durch Thone oder Metalloxyde gefärbte Massen, indem man entweder die weiße Steingutmasse mit denselben überlegt (Angußmassen oder Engoben) und sowohl die farbiggetönten wie die weißen Flächen mit Unterglasurfarben weiter bemalt, oder indem man die farbigen Massen direkt zum Malen verwendet (Schlicker- oder Pastenmalerei). Das mechanische Aufbringen der farbigen Massen geschieht entweder durch Übergießen der rohen oder verglühten Geschirre, durch Anspritzen derselben oder in der Weise, daß man die rahmartige farbige Masse in die Gipsform gießt, diese etwas ansaugen läßt, den überschüssigen Farbbrei wieder ausgießt und nun durch Eingießen von farbloser Masse dem Scherben die erforderliche Stärke gibt. Man kann auf diese Weise auch mehrere verschiedenfarbige Schichten übereinanderlegen, darauf Teile derselben mit dem Stahl fortradieren und auf diese Weise sehr schöne Wirkungen erzielen. Die Schlickermalerei ist mit großem Erfolg

von neueren Technikern und Künstlern, so von Th. Deck, Seger, Timm u. a. (auch in den Rookwood-Fabriken in Nordamerika) sehr mannigfaltig ausgebildet.

Die Dekoration des Steinguts über der Glasur besteht in der Verwendung von Glanzgold, echtem Gold oder von Lüsterfarben. Die Lüster geben dem Steingut ein irisierendes gold-, silber- oder kupferglänzendes Aussehen; sie sind Lösungen der betreffenden Metalle oder geeigneter Salze derselben, welche mit Schwefelbalsam und Terpentinöl oder ähnlichen Präparaten verrieben sind. Durch Verdünnen des Glanzgoldes mit ätherischen Ölen erhält man z. B. ohne weiteres Goldlüster. Die Lüster werden mit einem breiten dicken Pinsel der glasierten Fläche aufgetupft und dann bei eben beginnender Rotglut eingebrannt. In neuerer Zeit ist der Lüsterdekor wieder sehr beliebt, und das Berliner Kunstgewerbe-Museum weist herrliche Lüsterfayencen französischen Ursprungs und von dem Dänen Kähler in Nestved bei Kopenhagen auf. Letzterer war auch mit einer reichhaltigen Kollektion sehr origineller, prachtvoll irisierender Kupferlüster auf der Ausstellung in Stockholm 1897 vertreten, Arbeiten, die sich ebenso sehr durch die Leuchtkraft der Farben wie durch die Schönheit der Gefäßformen hervorthaten.

Zu den Steingutfabrikaten sind endlich die sogenannten Kölnischen Thonpfeifen zu zählen, deren weltgeschichtliche Bedeutung freilich durch die Zigarren einen bedeutenden Stoß erlitten hat; dieselben werden aus weißem oder rotbrennendem Thon, sogenanntem „Pfeifenthon", angefertigt. Diese Thone sind keine anderen als die zur Herstellung des weißen Steinguts verwendeten plastischen weißbrennenden Thone, wie sie vielfach im Nassauischen gefunden werden. Der ohne weitere Zusätze zu verarbeitende Thon wird zwischen den Händen oder auf einem Brett ausgerollt und in einzelne Würgel von der Länge des Pfeifenstiels zerschnitten. An dem einen Ende setzt man ein dickeres Thonstück (Wulst) an, welches später als Pfeifenkopf ausgearbeitet wird. Das Durchbohren des Stiels geschieht in lederhartem Zustande dadurch, daß man einen zugespitzten und geölten Messingdraht (Weiser) durch den Stiel schiebt. Dann wird das ganze Thonstück in eine zweiteilige Messingform gethan und der Pfeifenkopf vermittelst eines eichelförmigen Kernes, des sogenannten Stopfers, der vorher gleichfalls geölt ist, ausgearbeitet. Nachdem die Pfeife aus der Form genommen ist, wird sie mit einem Holz oder einem Achat verputzt. Ein geübter Arbeiter fertigt täglich gegen 200 Pfeifen. Die Pfeifen werden in unglasiertem Zustande scharf gebrannt und sind nach dem Brennen porös. Das Brennen geschieht in besonderen Öfen, Abb. 168, in denen jede Pfeife für sich um eine in der Mitte stehende Säule so aufgestellt werden kann, daß sie die anderen nicht berührt. Nach dem Brennen werden die besseren Sorten noch mit einem Gemisch von Seife, Wachs und Tragant bestrichen und hierauf poliert oder geglättet. Die aus rotbrennendem Thon hergestellten Pfeifen werden häufig gedämpft, wodurch sie ein Ansehen wie von Ebenholz annehmen. Man bewirkt das Dämpfen der Thonpfeifen, welches auf einer Reduktion des in den Thonen enthaltenen Eisenoxyds zu Eisenoxydul und metallischem Eisen oder auf einer teilweisen Ablagerung von Graphitteilchen in den Poren der Masse beruht, dadurch, daß man die Pfeifen beim Brennen in einer Kapsel mit Koks einpackt und ein möglichst reduzierendes Feuer unterhält.

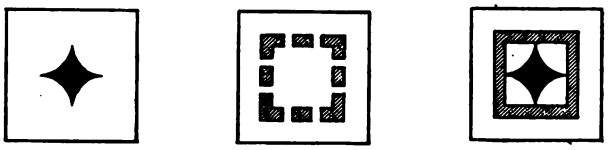
168. Brennen der Thonpfeifen.

Trotzdem zur Vollendung der Thonpfeifen eine Unzahl Manipulationen vorgenommen werden und von dem Auskneten des Thones an bis zum letzten Polieren ganze Reihen von Arbeitern sich in die Hände arbeiten müssen, ist der Preis dieses Artikels doch ein so niedriger, daß nur die Massenerzeugung eine Erklärung dafür geben kann.

II. Dichte Thonwaren.

Zu den Thonwaren mit dichtem Scherben, deren vornehmſtes Erzeugnis das weiße Porzellan iſt, gehören außer dieſem einige Erzeugniſſe mit farbigem oder nicht ganz weißem Scherben, wie die Platten nach Mettlacher Art, die Klinker und das Steinzeug; die Mettlacher Platten und die Klinker ſind unglaſiert, das Steinzeug dagegen iſt glaſiert.

Die Mettlacher Platten werden aus außerordentlich fetten, ziemlich feuerfeſten, weißlichgrau brennenden plaſtiſchen Thonen, welchen man zur Erzielung farbiger Nuancen entweder Metalloxyde oder farbig brennende Thone zuſetzt, hergeſtellt. Zuweilen iſt es erforderlich, Feldſpat oder Quarzſand oder weißbrennenden Kaolin als Magerungsmittel zuzugeben, beſonders letzteren dann, wenn ſich der plaſtiſche Thon nicht genügend weiß brennt, was zur Erzielung anderer reiner Färbungen immer erforderlich iſt. Die Mettlacher Platten, welche auf einer minderwertigen Grundmaſſe die betreffende farbige Oberflächenſchicht nur in einer Dicke von 2—3 mm haben, werden vermittelſt hydrauliſcher Preſſen, wie ſie z. B. von Laeis in Trier in vorzüglicher Güte gebaut werden, aus vorher getrocknetem Thonpulver angefertigt. Zu dieſem Zwecke werden die betreffenden Maſſen vorher getrocknet, gepulvert und nun mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 6—8 % Waſſer (in klammfeuchtem Zuſtande) einem Drucke bis zu 250 Atmoſphären ausgeſetzt. Das Flieſenmuſter wird mittels Zinkſchablonen aufgetragen, indem man die verſchiedenfarbigen Thonpulver in die durch Zinkblechſtreifen getrennten Felder einträgt. Jedes der betreffenden Mädchen hat nur ein Stück Blech, genau von der Größe der Oberfläche der Form, in welches Öffnungen eingeſchnitten ſind, die den Figuren ſeiner Farben entſprechen; dasjenige, welches das ſchwarze Thonpulver hat, wird alſo ein ſolches vom Ausſehen der Abb. 169, das mit dem roten Thonpulver ein ſolches vom Ausſehen der Abb. 170 haben. Nach dem Preſſen und Brennen zeigt dann die Flieſe das Muſter von Abb. 171, wobei die ſchraffierten Teile rot, die vollgeſchwärzten Teile ſchwarz zu denken ſind. In neuerer Zeit iſt man auf das Einfüllen der Farben auf maſchinellem Wege wegen der damit verbundenen billigeren Arbeitsweiſe aus und verſucht die Handarbeit auch hier durch Maſchinenarbeit zu erſetzen.



169. 170. 171.

169—171. Herſtellung Mettlacher Platten.

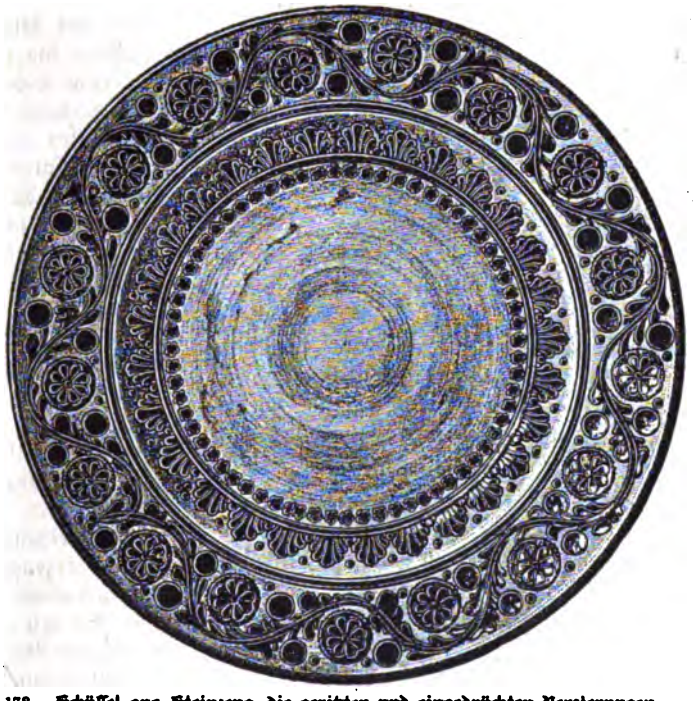
Damit die 2—3 mm ſtarke Überſchicht beim Brennen nicht reißt, muß ihre Schwindung mit der Grundmaſſe genau übereinſtimmen, was durch mehr oder minder großen Zuſatz von gebrannter Maſſe in Form von feinerem oder gröberem Pulver erreicht wird.

Zum Brennen der Platten werden Mendheimſche Kammeröfen (mit Generatorgas) oder den Steingut- und Porzellanöfen ähnliche Konſtruktionen verwendet. (Vergl. die Abbildungen der Porzellanöfen.)

Die Straßenklinker ſind Steine von meiſt dunkelgelber, brauner oder ſchwarzer Farbe und ähnlichem Format wie die gewöhnlichen Ziegelſteine, deren Herſtellung auf ähnliche Weiſe durch Naßpreſſung, in Amerika jedoch vorzugsweiſe durch Trockenpreſſung, wie bei den Mettlacher Platten, geſchieht. Als Bindethon verwendet man kalkfreie eiſenſchüſſige Lehme mit 6—10 % Eiſenoxydgehalt, die früh ſintern, aber erſt bei höheren Temperaturen ſchmelzen. Durch Zuſatz von gebranntem und rohem feuerfeſteren Thon, Kaolin, Chamottepulver oder dergleichen wird ihre Standfeſtigkeit während des Brennens erhöht. Die Klinker werden am beſten in Einzelöfen gebrannt und nach Beendigung des Brandes möglichſt langſam erkalten gelaſſen, wodurch ihre Zähigkeit erhöht wird. In Deutſchland werden Klinker von vorzüglicher Qualität in Oldenburg hergeſtellt.

1. Steinzeug.

Das Steinzeug stellt die Übergangsstufe zum Porzellan dar, und die feineren Steingutfabrikate unterscheiden sich vom Porzellan nur dadurch, daß der Steingutscherben undurchsichtig, grau, gelb oder gelbbraun gefärbt und die Glasur meist durch Salzen erzeugt ist. Zu diesen Fabrikaten gehören u. a. die salzglasierten Vasen und Krüge von Villeroy und Boch in Mettlach und von Merkelbach in Grenzhausen, die braun glasierten Bunzlauer Geschirre, sowie die sog. Wedgwood-Fabrikate, welche weiß oder durch Angußmassen (Engoben) gefärbt sind und je nach ihrem Aussehen als Basaltgut, Jaspisgut, Biskuitgut, Ägyptian u. s. w. bezeichnet werden. Diese zuerst von Wedgwood hergestellten, meist unglasierten Erzeugnisse sind teilweise mit farbigen Massen überfangen, ähnlich wie in der beim Steingut beschriebenen Weise, und tragen auf diesen wieder Wappen, Köpfe, mythologische Darstellungen u. s. w. in weißer Masse und erhabener Arbeit, so daß diese letzteren, die, meistens für sich besonders geformt und mittels Schlicker auf den Gegenstand aufgeklebt und dann mit dem Ganzen festgebrannt sind, sich von dem dunkelfarbigen Grunde kameenartig abheben.



172. Schüssel aus Steinzeug, die geritzten und eingedrückten Verzierungen blau glasiert.
Nassau, 17. Jahrh., jetzt im Hamburger Museum für Kunst und Gewerbe.

Die zur Herstellung der verschiedenen Erzeugnisse dienenden Thone sind äußerst plastisch und noch ziemlich feuerfest; ihr Eisengehalt wechselt sehr, so daß sie beim Brennen Färbungen von Weiß bis Weißgrau, bezw. von Weißgelb bis Gelbbraun annehmen. Besonders geschätzt sind die weißlichgelb und weißlichgrau brennenden Thone, die sich im Westerwald in vorzüglicher Qualität und in großer Menge finden, so daß sich in diesen Distrikten auch eine ausgedehnte Steinzeugindustrie entwickelt hat. Diese Thone sind frei von kohlensaurem Kalk, enthalten jedoch mehr oder weniger große Mengen von kieselsauren Alkalien, Feldspat und Quarz, so daß sie im allgemeinen schon durch den bei ihrer Entstehung durchgemachten natürlichen Schlämmprozeß mit so viel Flußmitteln versehen sind, daß sie, falls sie nicht sonstige Verunreinigungen wie Schwefelkies enthalten oder nicht zu fett sind und daher eine zu große Schwindung beim Trocknen und Brennen aufweisen, ohne weiteres verarbeitet werden können. Vermöge ihres natürlichen Gehaltes an kieselsauren Alkalien und sehr fein verteiltem Quarz liegt der Sinterungspunkt dieser Thone erheblich tiefer als ihr Schmelzpunkt, so daß die Brenntemperatur nicht allzu hoch getrieben zu werden braucht.

Das Formen der Erzeugnisse geschieht wie beim Steingut auf der Töpferscheibe in Gipsformen oder freihändig. An manchen Orten werden Verzierungen wie Punkt- oder

Strichmuster durch Eindrücke mit dem Modellierholz in sehr geschickter Weise hergestellt, so z. B. in Höganäs in Südschweden.

Das Glasieren der Geschirre geschieht entweder durch Begießen, Eintauchen, Aufspritzen oder während des Brennens durch Einwerfen von Kochsalz in die Feuerungen. Als Begußglasuren dienen für gewöhnliche Geschirre meist kalkhaltige Ziegelthone, die man eventuell durch Zusatz von Glätte noch leichter schmelzbar macht; für feinere Erzeugnisse wendet man porzellanartige Glasuren, bestehend aus Feldspat, Marmor oder Kreide, Kaolin und Quarz, an, denen man häufig Borsäurefluß zusetzt, um ihren Schmelzpunkt zu erniedrigen. Falls die Erzeugnisse eine farbige Bemalung mit Smalte, Eisenoxyd oder Steingut-Unterglasurfarben erhalten, so wird dieselbe auf den rohen getrockneten Sachen aufgetragen, dann das ganze Stück mit der Glasur begossen und Masse und Glasur in einem Feuer gut gebrannt.

178. Schnabelkrug von grauem Kaerener Steinzeug mit verteilt aufgelegtem Blau.
Jetzt im Hamburger Museum für Kunst und Gewerbe.

Das Glasieren durch „Salzen" wird auf folgende Weise bewirkt. Nachdem die zum Garbrennen erforderliche Hitze fast erreicht ist, wird beim weiteren Aufgeben von Brennmaterialien eine dem Inhalt des Ofens entsprechende Menge Kochsalz direkt oder durch Eintragen in die Feuerungen in den Ofen gebracht. Die in den Feuergasen enthaltenen Wasserdämpfe setzen sich mit dem Chlornatrium zu Chlorwasserstoff um, und das Natron bildet mit den im Zustande der Erweichung befindlichen Thonerdesilikaten an der Oberfläche der Geschirre ein Alkali-Thonerde-Silikat, welches den Gegenstand als glänzende Haut überzieht. Das Brennen der Gegenstände geschieht meistens in freiem Feuer; feinere Erzeugnisse werden jedoch auch in Kapseln gebrannt, oder durch Einbauen mit Ziegeln vor der unmittelbaren Berührung der Flamme geschützt, damit die Gegenstände von der Flugasche nicht getroffen werden.

Von großer Wichtigkeit sind in den letzten Jahrzehnten durch das Aufblühen der chemischen Großindustrie, durch die Erfordernisse der großen Städte an Kanalisations- und Wasserleitungsröhren für Krankenhäuser, Schulen u. a. m. die Erzeugnisse aus ordinärem Steinzeug geworden. Diese Gerätschaften nähern sich hinsichtlich der Zusammensetzung der Massen und technischen Behandlung derselben beim Formen schon mehr der Chamottefabrikation, wie wir sie bei der Herstellung der hessischen Tiegel besprochen haben. Man verwendet dieselben leichtsinternden Thone wie für die feineren Steinzeugwaren, aber versetzt dieselben reichlich mit Chamotte, um beim Trocknen und Brennen der zum Teil sehr großen Stücke eine möglichst geringe Schwindung zu haben. Vorzügliches leisten in dieser Fabrikation die Fabriken von Ernst March Söhne in Charlottenburg, von Fickentscher in Zwickau und von Rohrmann in Muskau; vortreffliche Kanalisationsrohre werden in Münsterberg in Schlesien und in den Bitterfelder Fabriken gemacht. Fickentscher hatte auf der Sächsisch-Thüringischen Industrie-Ausstellung 1897 große Gefäße von 4000 l Inhalt ausgestellt.

2. Porzellan.

Hartporzellan. Gehen wir zur Herstellung des Porzellans aus seinen Rohmaterialien über, so haben wir im wesentlichen wieder dieselben Vornahmen zu beachten, die wir schon bei den gemeinen Thonwaren-Erzeugnissen kennen gelernt haben, nur daß wegen des größeren Wertes des Porzellans die Auswahl der Rohstoffe, die Aufbereitung und die Behandlung derselben eine ungleich sorgfältigere ist. Das Porzellan wird im wesentlichen aus Kaolin und Feldspat unter Zusatz von Quarz hergestellt. Der Kaolin, welcher in fast allen Ländern der Erde vorkommt und welcher in seiner reinsten Form, wie wir schon weiter oben gesehen haben, das Endprodukt der Verwitterung der feldspatführenden Granite, Syenite, Porphyre oder des Gneis ist, entspricht als solcher der chemischen Formel: $Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$. Dieser Stoff, welcher auf 1 Molekül Thonerde, 2 Moleküle Kieselsäure und 2 Moleküle Wasser enthält und in der Technik mit „Thonsubstanz" bezeichnet wird, besteht in 100 Teilen aus:

39,77 % Al_2O_3 (Thonerde),
46,33 % SiO_2 (Kieselsäure),
13,90 % H_2O (Wasser).

Meistens findet sich der Kaolin aber nicht in solcher Reinheit, sondern enthält noch unverwitterte Bestandteile (Feldspat, Glimmer) oder eingeschlämmte Mineralien (Quarz, Schwefelkies u. a. m.), die vor seiner Verarbeitung zu Porzellan durch Schlämmen entfernt werden müssen, falls sie nicht in so feinverteilten, feinkörnigen Mengen im Kaolin enthalten sind, daß sie beim Reiben zwischen den Fingern gänzlich unfühlbar sind. Der hauptsächlich die Schmelzbarkeit befördernde Teil der Porzellanmasse ist der Feldspat (engl. Feldspar, das Petunt-se der Chinesen), ein Mineral, das in verschiedenen Varietäten in der Natur vorkommt und durch ausgezeichnete Kryställisierbarkeit und Spaltbarkeit charakterisiert ist. Chemisch ist der Feldspat ein Thonerde-Alkali-Silikat von der molekularen Zusammensetzung:

$$Al_2O_3 \cdot K_2O \cdot 6\,SiO_2 \text{ oder } Al_2O_3 \cdot 3\,SiO_2 + K_2O \cdot 2\,SiO_2.$$

Das Kali im Feldspat kann ganz oder teilweise durch andere Basen: Natron, Kalk, Magnesia oder Baryt ersetzt sein; den Kalifeldspat nennt man: Orthoklas, den Natronfeldspat: Albit, den Kalkfeldspat: Anorthit, die Zwischenglieder zwischen Natron- und Kalkfeldspat heißen: Oligoklas, Andesin, Labradorit. Die Feldspate, welche Gemengteile der wichtigsten Silikatgesteine sind, wie des Granits, Granulits, Syenits, Gneis, Porphyrs u. s. w., werden durch die Feuchtigkeit und den Kohlensäuregehalt der Luft unter dem Einfluß von Wärme und Kälte, wie wir weiter oben gesehen haben, zersetzt, es bilden sich unter Abscheidung von Kieselsäure wasserlösliche Alkalikarbonate, die mit der Kieselsäure ausgewaschen und fortgeführt werden, und unter Aufnahme von Wasser bleibt das plastische Thonerdesilikat $Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$ (Thonsubstanz) zurück. Als dritter Bestandteil kommt zu dem Kaolin und dem Feldspat der Quarz, welcher in reinster Form als chemisch reine Kieselsäure in vielen Varietäten als Bergkrystall, Quarz, Sand u. s. w. vorkommt. Quarz und Kaolin sind schwer schmelzbar, der Feldspat ist wesentlich leichtflüssiger.

Der Prozeß der Porzellanbildung im Feuer ist ein vorwiegend chemischer und etwa in der Weise zu denken, daß die beim Brennen des Porzellans noch nicht schmelzbare Thonsubstanz ($Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$) durch den ihr zugesetzten, feinverteilten, sehr früh schmelzenden Feldspat verkittet wird und sich bei der gleichzeitigen Gegenwart von Quarz unter dem Einfluß des Feldspats aus der Thonsubstanz saure alkalihaltige Thonerdesilikate bilden; die Temperatur wird jedoch nicht so hoch getrieben, daß die Silikate zum Schmelzen kommen, sondern gerade nur so lange erhalten und bis zu einer solchen Höhe gebracht, daß die Porzellanmasse sich im Zustande beginnender Erweichung befindet. Dadurch wird keine einheitliche chemische Verbindung, sondern nur ein Gemisch verschiedener Silikate von wechselnder Zusammensetzung erzeugt. Da die in der Regel bleifreie Glasur neben einem größeren Kalkgehalt im wesentlichen aus denselben Rohmaterialien besteht wie der Scherben, so bildet sich zwischen Scherben und Glasur ein inniger Zusammenhang, so daß man auf der Bruchfläche eine Grenzlinie zwischen Glasur und

Scherben, wie es beim Steingut der Fall ist, nicht wahrnehmen kann. Die Transparenz, d. h. das Durchschimmerungsvermögen des Porzellans, beruht auf jener beim Schmelzen entstehenden glasigen Masse von Alkalisilikaten, von denen die undurchsichtigen Kaolinkörperchen umlagert sind, so daß man also durch Erhöhung des Feldspatgehaltes des Porzellans infolge der dann geringer werdenden Menge des Kaolins in der Lage ist, die Erzeugnisse durchscheinender zu machen.

Aus Kaolin, falls derselbe noch viel unzersetzten Feldspat enthält, kann man ohne weitere Zumischung Porzellan machen, wie dies in der That in manchen Fabriken geschieht, die einen feldspathaltigen, noch in der Verwitterung begriffenen Kaolin verarbeiten. Anderenfalls muß man den geschlämmten Kaolin mit Feldspat versetzen und Quarz in annähernd gleicher Menge wie Feldspat zusetzen, falls nicht der Kaolin von letzterem schon hinreichende Mengen enthält. Während der Zettlitzer Kaolin reine Thonsubstanz mit nur etwa 1—1½ % Quarz und Feldspat ist, enthält der Hallesche Kaolin bis zu 35 % nicht ausschlämmbaren Quarz und etwas Feldspat oder genau 63,77 % Thonsubstanz, 35,50 % Quarz, 0,73 % Feldspat und der in Sèvres verarbeitete Kaolin von St. Yrieux 55,88 % Thonsubstanz, 5,95 % Quarz, 38,17 % Feldspat. Dieser letztere Kaolin kann direkt ohne Zusätze als Porzellanmasse verarbeitet werden, während nach Vorschrift der Königlichen Porzellanmanufaktur zu Berlin dem Kaolin von Halle auf 100 Gewichtsteile Kaolin noch 30 Gewichtsteile Feldspat zugegeben werden müssen und man der Zettlitzer Erde sowohl Quarz als Feldspat zusetzen muß. Hieraus geht ferner hervor, daß man ohne weiteres nicht einen Kaolin durch einen anderen ersetzen kann, sondern immer den Gehalt an Thonsubstanz, Quarz und Feldspat in Rechnung ziehen muß. Will man z. B. in einer Porzellanmasse, welche aus 100 Gewichtsteilen obigem Halleschen Kaolin und 30 Gewichtsteilen Feldspat, oder was dasselbe ist, aus 77 Gewichtsteilen obigem Halleschen Kaolin und 23 Gewichtsteilen Feldspat hergestellt ist, die also in 100 Gewichtsteilen enthält: 49,1 % Thonsubstanz, 27,3 % Quarz, 23,6 % Feldspat, ohne das Verhältnis von Thonsubstanz zu Quarz zu Feldspat zu verändern, den Halleschen Kaolin durch Zettlitzer Erde ersetzen, die reine Thonsubstanz ist, so darf man nicht an Stelle von 77 Teilen Halleschem Kaolin 77 Teile Zettlitzer Erde nehmen, sondern man muß 40,1 Gewichtsteile Zettlitzer Kaolin, 27,3 Gewichtsteile Quarz, 23,6 Gewichtsteile Feldspat nehmen.

Bevor den Kaolinen der Feldspat und der Quarz zugesetzt wird, müssen dieselben feingemahlen werden; dies geschieht dadurch, daß diese Gesteine, nachdem sie eventuell bei Rotglut ausgeglüht sind, um infolge größerer Sprödigkeit leichter gemahlen werden zu können, auf Kollergängen vorgefeint und dann auf Kugelmühlen, sogenannten Alsing-Cylindern, welche um ihre Achse rotieren, zu mehlfeinem Pulver gemahlen werden. Eine derartige Mühlenanlage zeigt die nebenstehende Abb. 174. Enthält der Kaolin fühlbar grobe Mineraltrümmer, so wird er auch gemahlen oder sehr sorgfältig geschlämmt. Zu diesem Zwecke läßt man den Kaolin, wie er von seinem Fundorte kommt, mit einer großen Menge Wasser in umfangreichen Bottichen sich erweichen und verwandelt ihn darauf durch anhaltendes Rühren in cylindrischen Schlämmtrommeln mit horizontaler Achse, um welche herum Rührarme gelagert sind, in eine gleichmäßige dünne Milch, welche in den Schlämmapparat in demselben Maße abfließt, als frisches Wasser oben zuströmt. Die gröberen Gesteinsstücke bleiben schon in der Schlämmtrommel zurück, der feinere Sand aber wird mit fortgeführt, und die Milch wird deshalb gezwungen, zunächst eine lange, nur ganz wenig geneigte, mäanderartig gewundene Rinnenleitung langsam zu passieren, in welche sich die schwereren Teile absetzen. Die feinsten Kaolinkörnchen kommen erst in großen Kufen zur Ruhe, in welchen die Milch längere Zeit stehen gelassen und aus denen von Zeit zu Zeit das überstehende klare Wasser durch Abflußröhren, welche beliebig verstellt werden können, abgezogen und durch frische Milch ersetzt wird. Durch einen geringen Zusatz von Kalkmilch zu dem aufgerührten Kaolinbrei bewirkt man ein Coagulieren der Schlammteilchen und infolgedessen schnelleres Absetzen der thonigen Masse. In diesen Absatzkufen, die in größeren Fabriken zweckmäßig aus Zementmauerung hergestellt werden, bildet die Porzellanerde den Bodensatz,

174. Aus der Massenmühle der Porzellanfabrik von Rießner, Stellmacher & Kessel in Turn-Teplitz.

sie ist hier von feinster, gleichmäßigster Beschaffenheit und in feuchtem Zustande von einer gewissen Plastizität. Mit den erforderlichen Zusätzen an fein gemahlenem Quarz und Feldspat wird sie in der Regel im Zustande flüssiger Schlempe in den angenommenen Verhältnissen zusammengerührt, das Gemisch nochmals durchgerührt und durch Siebe geschlämmt, der abgewässerte Schlamm sodann auf Filterpressen ausgepreßt und die halbtrockene Masse nach gehöriger Durcharbeitung in Ballen geformt. Die abgepreßte Masse überläßt man in Kellern einer Art freiwilliger Gärung oder Rottung, die 1—2 Monate, in China (sagt man) 40—50 Jahre (?) unterhalten wird und wodurch der Thon sich mehr aufschließt und an Bildsamkeit gewinnt. Die Masse erleidet hierbei eine eigentümliche Veränderung; sie nimmt eine dunklere Farbe an, was von den Praktikern darauf zurückgeführt wird, daß die in ihr enthaltenen Spuren organischer Substanzen in Fäulnis übergehen; wahrscheinlich entwickeln sich mikroskopische Organismen in ihr, deren Keime durch die Luft zugeführt werden und deren besondere Färbung bei ihrer Massenhaftigkeit einen braunen oder schwärzlichen Überzug hervorbringt. In noch anderen Fällen können auch Schwefelverbindungen im Spiele sein, denn die abgelagerte Porzellanmasse stößt oft einen deutlichen Geruch nach Schwefelwasserstoff aus. Der von Seger gegebenen Erklärung, daß die Masse infolge Säurebildung plastischer werde, steht der Umstand entgegen, daß die meisten lange abgelagerten Massen alkalisch reagieren.

Die abgelagerte Masse wird abermals durchgearbeitet, und daraus werden dann die Gegenstände ziemlich in derselben Art wie bei der Töpferei gefertigt, nur daß beide Arbeiten, Dreherei und Formerei, stets Hand in Hand gehen und alle Gegenstände in Gipsformen fertig gedreht werden. Die kurze und wenig bildsame Beschaffenheit der Porzellanmasse macht aber die Verarbeitung viel schwieriger als dies bei den fetten Thonmassen der Fall ist. Ist daher ein Gegenstand, Vase, Tasse u. dergl., auf der Scheibe leidlich vorgedreht, so gibt man ihm seine weitere Ausbildung, indem man ihn auf eine Gipsform bringt, welche auf der Scheibe abgedreht worden ist und, auf der Achse befestigt, sich mit dieser dreht, während man die Porzellanmasse durch Drücken und Streichen an die Wände der Form genau anzulegen sucht. Die Einrichtung einer Porzellandreherei veranschaulicht Abb. 175. Da der Gips der thonigen Masse lebhaft Wasser entzieht, so erlangt diese dadurch so viel Konsistenz, daß die Formstücke ohne zusammenzuklappen sich nachher leicht davon ablösen lassen. Hohle Körper formt man, wenn ihre Größe oder Form dies beanspruchen, in zwei Hälften, die man dann mit dünner Kaolinmasse — sogenanntem Schlicker — zusammenkittet und mit feuchten Schwämmchen poliert. Bei der Herstellung von durchbrochenen Gegenständen werden die Durchbrechungen meistens mit freier Hand aus dem Massiven herausgeschnitten. Büsten, Statuen u. dergl. müssen auf alle Fälle noch aus freier Hand nachgearbeitet, ziseliert u. s. w. werden, wenn sie lufttrocken sind. Vertiefte Ornamente werden eingedrückt, erhabene gleich mit geformt, oder auch wie Henkel u. dergl. für sich hergestellt und dann mit Schlicker, d. h. breiartiger Masse, angekittet.

Teller und Schüsseln erhalten ihre Gestalt aus entsprechend dünnen Platten, Schwarten, die aus der Thonmasse mit einer dem Nudelholz ähnlichen Walze vorgerichtet werden; dieselben schlägt man sodann über eine auf der Scheibe befindliche Form, welche das Innere bildet, und dreht die äußere Form mittels der Schablone ab, läßt aber den Gegenstand so lange auf der Unterlage, bis er lufttrocken ist und sich nicht mehr verziehen kann. Lufttrockene, sogenannte lederharte Gegenstände werden nicht selten noch auf der Drehbank ganz wie Holz ausgearbeitet.

Manche Sachen werden auf eigentümliche Weise in zwei- oder mehrteiligen, dickwandigen möglichst stark saugenden Gipsformen gegossen. Eine solche Form schließt man unten und füllt sie ganz mit Porzellanmasse, die etwa so dick ist wie fette Sahne. Nun saugt der Gips das Wasser aus der anliegenden Masse und verdichtet diese; wenn man die Form unten öffnet, fließt die übrige Masse aus, und es bleibt nur die verdichtete Wand in der Form sitzen, so daß man, wenn dieselbe wieder trocken geworden ist, beim Öffnen der Form das fertige Gefäß herausnehmen kann. Statt des Abzapfens von unten wird öfters das Umstürzen der Formen angewandt; bei kleinen Gefäßen zieht man wohl

175. Drehereisaal der Porzellanfabrik von Rießner, Stellmacher & Kessel in Turn-Teplitz.

auch die innere, flüssig bleibende Masse mit einer Spritze oder einem Saugrohr heraus. Man kann auf diese Weise Schalen u. dergl. herstellen, die so dünn und zart wie Postpapier sind. Seit mehreren Jahren ist das lange bekannte Gießverfahren wieder sehr in Aufnahme gekommen. Es wird der Gießmasse Soda zugesetzt, wodurch eine an sich wasserärmere Masse dünnflüssiger wird, so daß man von der Gipsform weniger Wasser aufsaugen zu lassen braucht und auch schneller gießen kann. Der Sodazusatz ist gleichfalls seit Jahrzehnten bekannt, aber erst infolge einer Patentstreitigkeit nach Aufhebung des Patentes mehr zum Gegenstand eingehender Versuche geworden. Beim Gießverfahren braucht man zwar mehr Gipsformen, aber die Arbeitslöhne reduzieren sich dafür in erheblichem Maße. Die Herstellung mehrfarbiger Porzellane durch Gießen erfolgt ganz in der beim Steingut beschriebenen Weise.

Denselben Effekt einer ungewöhnlichen Dünne soll man auch durch Anwendung von Zentrifugalmaschinen erreichen können, indem etwas dünner Brei in eine Mutterschale gethan und diese in anhaltenden raschen Umlauf gesetzt wird. Die weiche Masse muß infolge der Zentrifugalkraft an den Wänden in die Höhe steigen, und wenn das Drehen lange genug anhält, so wird sie dadurch ohne Zweifel so austrocknen, daß sie nicht wieder zurückfließt, sondern weiter getrocknet und gebrannt werden kann. Für ganz große Hohlgefäße wendet man, um den Porzellanthon in den Innenraum der Form allseitig und gleichmäßig anzupressen, luftdicht geschlossene Formen an, in die man mittels einer Kompressionspumpe verdichtete Luft hineinpreßt u. s. w.

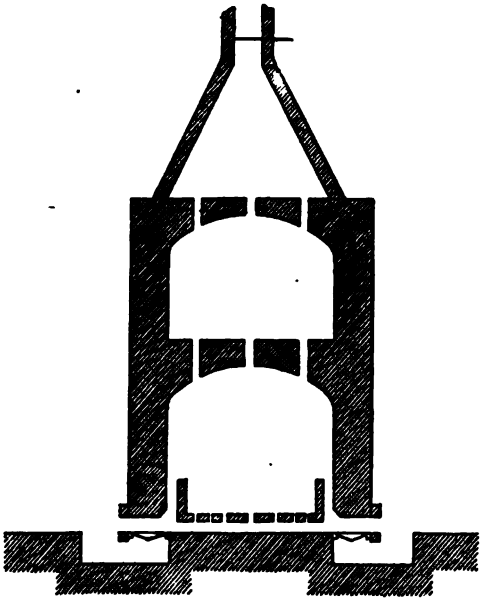
Ist für die gewöhnlichen Artikel des Gebrauchs die Behandlung der Porzellanmasse der Hauptsache nach ganz mit derjenigen übereinstimmend, welche der Thon für die Töpferwaren erfährt, so verlangen die feineren Erzeugnisse oft eine Ausarbeitung, welche bei weitem mehr an die Arbeit des Modelleurs und Bildformers erinnert und dem fertigen Produkte den Charakter einer schönen Freiheit der Erfindung, eine gewisse individuelle Selbständigkeit als Kunstwerk verleiht. Denn die vielgestaltigen, figurenreichen und mit Ornamenten- und Blumenwerk ausgestatteten Rahmen, Kandelaber, Vasen, Gruppen u. s. w., welche in Porzellan ausgeführt werden, können zwar in vielen ihrer einzelnen Teile geformt werden; diese Formerzeugnisse werden aber an sich schon der verbessernden Nachhilfe aus freier Hand bedürfen, und bei dem schließlichen Zusammensetzen der Köpfe, Arme, ja der einzelnen Finger einer Hand muß allein der künstlerische Sinn des Ausführenden das Richtige treffen. Und endlich gibt es Gegenstände, die durchaus aus freier Hand modelliert werden müssen, wie die Blumen, bei denen die einzelnen Blätter zwischen den Fingern aus kleinen Klümpchen Porzellanmasse geformt und mit ihren Ausschnitten, Äderchen und Stengelchen versehen werden. Wenn man daher in eine solche Formerei tritt, so schwindet bald die Idee von der mechanischen Vervielfältigung durch bloßes Abformen, der man bisher sich hingegeben hat, ja die freie Handarbeit tritt bei figürlichen Darstellungen sogar fast in den Vordergrund. Von einer einzigen Form kann überdies nur in den seltensten Fällen die Rede sein und schon bei den einfachsten Figuren sind mehrere Teilformen nötig.

Je reicher die Ausstattung, um so größer ist die Zahl der Zusammensetzungsstücke, und es werden in Berlin und Meißen Bildwerke hergestellt, zu denen 80 und mehr solcher Teilformen gehören. Mancherlei Kunstgriffe müssen außerdem noch angewendet werden. So sieht man an den zierlichen Rokokofiguren, welche eine Spezialität der Meißener Fabrik sind, Schleier, Miederbesätze u. s. w., die wie die feinste Spitzenarbeit durchbrochen und gezackt und aus lauter einzelnen Fäden zusammengesetzt erscheinen. Dieselben werden von ganz besonders in dieser Arbeit geübten Händen ausgeführt, und zwar mittels des Pinsels; jeder Faden wird förmlich in seine Lage gesponnen. Mit dem Pinsel oder einem spitzen Holzgriffel nämlich nimmt die Arbeiterin etwas von der zu einem sahnesteifen Teige angerührten Porzellanmasse auf, betupft damit einen Punkt, wo die Spitze ansitzen soll, und zieht rasch den Pinsel zurück. Da die Porzellanfigur schon verglüht ist, so saugt sie das Wasser aus dem Pinsel rasch ein und es setzt sich ein kleines Teigkügelchen an, das sich beim Abziehen des Pinsels in die Länge auszieht. Freilich reißt das Fädchen bald ab, aber dadurch, daß seine Spitze wiederholt aufs neue betupft wird,

176. Brennofen.

verlängert es sich nach und nach doch in der gewünschten Weise. Und so wird ein Zäckchen nach dem anderen, eine Spitze nach der anderen angesetzt, die durch das Brennen dann ihre Festigkeit erhalten. Anderseits werden solche Nachahmungen auf rein mechanischem Wege gemacht, indem man wirkliche Spitzen in einem ganz dünnen Brei von Porzellanmasse einweicht, so daß sich alle Fäden davon vollsaugen; das feuchte Gewebe wird sodann an die betreffende Stelle der Figur angelegt, mit ihr getrocknet und gebrannt. Beim Brennen werden die organischen Fäden zerstört, die geringe Menge Porzellanmasse aber, die sie aufgesaugt hatten, behält ihre Form, und nachdem sie durch das Brennen sich gefestigt hat, stellt sie ein überraschend zierliches Abbild des ursprünglichen Gewebes dar.

Die Lichtbilder oder Lithophanien, jene bekannten dünnen, unglasierten Porzellanplatten, welche, gegen das Licht gehalten, malerische Darstellungen, Landschaften, Figuren u. s. w. mit einer wunderbaren Weichheit der Schatten- und Lichtabstufungen hervortreten lassen, werden in flachen Gipsformen, Matrizen, gepreßt. Diejenigen Stellen, welche im Bilde dunkel erscheinen sollen, erhalten eine größere Dicke oder werden auch wohl noch durch Farbe schattiert; die helleren, lichtreichen Partien werden in der Masse ganz dünn hergestellt, so daß sie von dem durchgehenden Lichte auch nur wenig zurückhalten. Ihre Darstellung begann früher mit der Anfertigung eines Wachsbildes, das in allen seinen Teilen einer fertigen Lithophanie gleicht und aus denselben Gründen die nämliche Wirkung macht. Eine Wachstafel wurde zu dem Ende auf einer Glasscheibe, die ihre Beleuchtung von der unteren Seite erhält, nach der darauf entworfenen Zeichnung so lange mit Bossierhölzern bearbeitet, bis die gewünschte Wirkung erreicht war. Von dieser Originalplatte wurde ein Gipsabguß genommen, welcher nach dem Trocknen als Form diente.



177. Ofen mit aufsteigender Flamme.

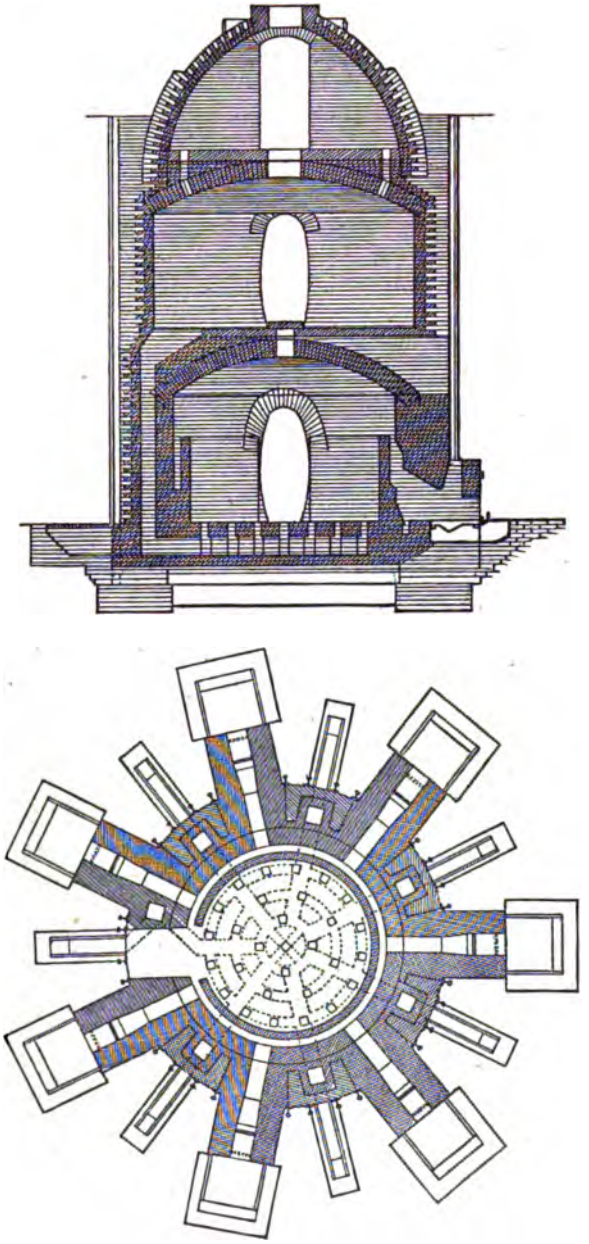
Heutzutage macht man dies ohne große Mühe auf photochemischem Wege; man belichtet unter der entsprechenden Zeichnung eine Chromgelatineplatte, deren belichtete Teile dadurch in Wasser unlöslich werden, wäscht die löslichen Teile ab und erhält auf diese Weise ein plastisches Bild, das man nun weiter als Negativ zur Herstellung einer Gipsform benutzen kann.

Die geformten und an der Luft oder in gelinder Wärme vollkommen ausgetrockneten Gegenstände kommen zuerst in den Verglühofen, wo sie, in Chamottekapseln eingesetzt, vorgeglüht werden und unter Abgabe des chemisch gebundenen Wassers des Kaolins so weit erhärten, daß sie glasiert werden können. Die Glasur wird ähnlich der gewöhnlichen Porzellanmasse hergestellt, aber ziemlich stark mit irgend welchen Flußmitteln (Kalkspat, Marmor, Kreide und Feldspat) versetzt; in verschiedenen Fabriken ist sie verschieden. In Meißen besteht sie aus 37 % Quarz, ebensoviel Kaolin von Seilitz, 17,5 % Marmor und 8,5 % gemahlenen Porzellanscherben. In der Königl. Porzellanmanufaktur zu Berlin wird eine Glasur verwendet, welche in geschmolzenem Zustande auf 1 Mol. K_2O, 2 Mol. MgO, 6 Mol. CaO, 9 Mol. Al_2O_3 und 90 Mol. SiO_2 enthält. Die mittlere Zusammensetzung der Hartporzellanglasuren entspricht in geschmolzenem Zustande der Molekularformel:

$$\left.\begin{matrix}0{,}1-0{,}3\ K_2O\\ 0{,}9-0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\} 0{,}8-1{,}2\ Al_2O_3\ .\ 8-12\ SiO_2$$

Die feingemahlenen Bestandteile der Glasur werden mit Wasser zu einer rahmdicken Flüssigkeit angemacht, in die der Arbeiter (Glasierer) die verglühten Waren eintaucht; die sich anhängende dünne Schicht muß eventuell durch nochmaliges Tauchen oder mit dem

Pinsel an den Stellen verstärkt werden, die nicht genügend Glasur aufgesaugt haben. — Will man Gegenstände mit mehreren verschiedenfarbigen Glasuren versehen, so taucht man den Körper zuerst in die eine Glasur, nimmt dann mit dem Stahl die Stellen ab, welche mit der anderen Glasur überzogen werden sollen, und trägt diese entweder mit dem Pinsel ein, oder man überzieht die erste Glasur an den Stellen, welche von der andersfarbigen Glasur frei bleiben sollen, mit einer Auflösung von Wachs in Terpentin, so daß diese Stellen keine Glasur mehr annehmen, und taucht dann den ganzen Gegenstand in die zweite Glasur. Nach einiger Zeit wird der Gegenstand scharf abgetrocknet und nachgearbeitet. Auch durch Anspritzen oder durch Überspritzen verschiedenfarbiger Glasuren (mittels Refraicheurs) hat Seger sehr schöne Effekte erzielt.

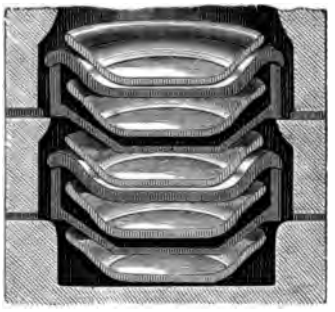


178 u. 179. Rundöfen der Königl. Porzellanmanufaktur zu Berlin mit überschlagender Flamme.
Nach Angaben des Direktors Dr. Heinecke

Die glasierten und nachgearbeiteten Gegenstände kommen nun in den Glatt- oder Gutbrand, und zwar werden sie nicht in freies Feuer, sondern in Chamottekapseln gesetzt, durch die sie vor der direkten Einwirkung der Flamme geschützt werden. Die Chamottekapseln sind von schachtelartiger Form und je dem Zwecke nach rund, oval oder eckig, sie werden im Ofen zu hohen Stößen oder Säulen aufeinander gesetzt, die unter sich so viel Zwischenraum behalten, daß die Feuergase zwischen ihnen freien Durchgang haben (s. Abb. 176). In die Kapseln hinein werden Chamotteplatten, sogenannte „Pumbse“ gelegt und auf diese die Gegenstände aufgesetzt; die Pumbse sind dicker wie die Kapselböden, verziehen sich nicht und gewährleisten daher, daß die Gegenstände, welche beim Brennen schwinden, gerade bleiben.

Die Porzellanöfen sind kreisrund und mehrstöckig, und zwar dient die untere Kammer, in der das höchste Feuer erzeugt wird, zum Gutbrennen des Porzellans, die mittelste Kammer zum Verglühen des Porzellans und die oberste zum Ausglühen der Chamottekapseln. Die Öfen sind entweder mit nur aufsteigender Flamme (ältere Konstruktion, Abb. 177) oder mit auf- und absteigender Flamme, Abb. 178 u. 179. Vorstehend sind beide Typen abgebildet; in den Öfen mit überschlagender Flamme wird diese von dem Gewölbe der untersten Kammer zurückgeworfen, steigt dann

in Zügen in der Umfassungsmauer hoch, gelangt in das zweite Stockwerk und von diesem direkt in den Kapselverglühraum. Von der Kapselverglühkammer gelangt die Flamme direkt in den Schornstein, als welcher ein unten mit Chamotte ausgefütterter Eisenblockschornstein dient; vor dem Eintritt in den Schornstein ist ein wagerecht liegender Schieber angebracht, damit durch geeignete Schieberstellung der Zug verstärkt oder vermindert werden kann. Äußerlich ist das ganze Mauerwerk mittels Eisenschienen und Ringen zusammengehalten. Die Öfen mit überschlagender Flamme haben vor den anderen den Vorzug, daß durch das längere Verweilen der Flamme im Ofenraum, in welchem die Flamme auf- und niedersteigt, die Hitze derselben besser ausgenutzt wird und die Flamme abgekühlter austritt, zweitens aber, daß durch die Pressung der Feuergase ein besserer Ausgleich der reduzierenden und oxydierenden Gase erfolgt, mithin ein gleichartigeres Feuer erreicht wird. Das Feuerungsmaterial war früher ausschließlich Holz, jetzt wendet man jedoch überall Stein- und Braunkohlen an. Je nach der Größe der Öfen und der Höhe der zu erreichenden Temperatur schwankt der Brennmaterialverbrauch außerordentlich; während nach angestellten Berechnungen in der Marchschen Fabrik der Kubikmeter Ofenraum an Feuerung einschließlich Bedienung beim Brennen 5—6 Mark kostet, wird man beim Brennen von Hartporzellan wegen der erheblich gesteigerten Hitze die fünf- bis sechsfachen Kosten zu rechnen haben.



180. Brennen in Kapseln.

Auch mit Einführung des Generatorgases ist von der Königl. Porzellanmanufaktur zu Berlin ein erfolgreicher Versuch gemacht worden; seit 1872 ist daselbst unausgesetzt ein 22 kammeriger Mendheimscher Gasofen in Betrieb, der einzige, welcher zum Brennen von Porzellan existieren dürfte, während sich derselbe zum Brennen von Steingut und feuerfesten Erzeugnissen in unzähligen Exemplaren eingebürgert hat. Für die Berliner Manufaktur ist er deshalb von besonderem Wert, weil dieselbe so große Stücke macht, wie keine andere Porzellanfabrik; da dieselben sehr langsam angewärmt und abgekühlt werden müssen, ist hierfür der Gaskammerofen in erster Linie geeignet, wenn man auch hinsichtlich der Ersparnis an Brennmaterial im Vergleich zu den Rundöfen mit überschlagender Flamme sich keinen zu großen Hoffnungen wird hinzugeben brauchen, da infolge der langen Gaszuleitungen und wegen der stets von neuem wieder zu erwärmenden sehr starken Mauern trotz der Kontinuität des Betriebes große Wärmeverluste unvermeidlich sind.

Größere Gegenstände und solche, welche stark ausgebaucht sind, müssen noch besonders abgesteift werden, wozu Stützen aus der gleichen Masse verwendet werden, die die erweichende Masse tragen können. Hierbei ist zu gleicher Zeit auf die Schwindung des Porzellans Rücksicht zu nehmen; beim Verglühen, welchem die Porzellane behufs Aufnahme der Glasur unterworfen werden, verliert die Masse etwa $^1/_8$ ihres Gewichts, und die Gefäße schwinden nur unmerklich. Bei dem nachfolgenden Glattbrennen aber, wobei die Ware in den untersten Räumen des Ofens der stärksten Weißglühhitze ausgesetzt ist, tritt beträchtliche Formänderung ein, und die Gegenstände werden um etwa $^1/_7$ kleiner; dies wechselt übrigens sehr mit der Zusammensetzung der Masse und wird am meisten durch den Quarzgehalt beeinflußt, welcher der Schwindung des Thonsilikates entgegen wirkt; quarzreiche Massen weisen also nur eine geringe Schwindung auf. Im Scharffeuer kommt die Glasur in Fluß, die ganze Masse beginnt zu erweicheu und erlangt die geschätzte durchscheinende Beschaffenheit. Die Regulierung des Feuers ist beim Porzellanbrennen von größter Wichtigkeit und erfordert sehr viel Umsicht. Als gute Kontrolle für die erreichte Temperatur haben sich die Segerkegel erwiesen, welche vom Chemischen Laboratorium für Thonindustrie in Berlin, Kruppstraße, geliefert werden. Übrigens dringen die Ofengase mehr oder weniger doch in die Kapseln ein, und die chemische Zusammensetzung der Feuerluft ist daher namentlich in Bezug auf gemalte Waren von Einfluß.

Je nach der Menge und der Beschaffenheit der einzelnen Bestandteile und ob die Flamme vorwiegend reduzierend oder oxydierend war, liefert die Porzellanmasse nach dem Brande ein sehr verschiedenartiges Produkt. Sind alle Materialien im Zustande

vollständiger Reinheit verwendet worden, so ist die Farbe vollständig weiß. Ein geringer Gehalt an Eisen aber ist schon hinreichend, um bei oxydierendem Feuer eine gelbliche, bei reduzierender Flamme eine grünliche Färbung zu bewirken; hierauf ist der grünliche Durchschein der chinesischen und vieler anderer Porzellane zurückzuführen, der diesen Erzeugnissen einen so eigentümlichen Reiz verleiht. Die größere oder geringere Durchscheinbarkeit hängt im wesentlichen von dem Verhältnis des Kaolins zu dem Feldspat ab. Sehr durchscheinende Porzellane verwendet man zu unglasierten Erzeugnissen, sogenanntem Biskuit, und namentlich zur Herstellung von Statuetten finden derartige Massen ausgedehnte Verwendung (s. später).

Die Erzeugnisse eines Brandes zeigen sich beim Entleeren des Ofens aber nicht alle von gleicher Beschaffenheit. Größere oder kleinere Fehler kommen zahlreich vor, und es muß ein genaues Sortieren erfolgen, nach welchem die weiße Ware in Feingut, Mittelgut, Ausschuß und Bruchgeschirr gesondert wird. Das Feingut muß völlig fleckenlos, milchweiß und fehlerfrei in der Glasur, ohne Blasen und matte Stellen sein und darf sich natürlich weder verbogen haben, noch Risse zeigen. Kleine Fleckchen oder mangelhafte Stellen in der Glasur, die man aber durch die Malerei verstecken kann, geben die zweite Sorte; übrigens brauchen die Fehler nur sehr wenig merkbar zu sein, um in renommierten Porzellanfabriken die Ware schon unter den Ausschuß zu verweisen.

181. Französisches Weichporzellan: Theetopf mit hellblauem oeil de perdrix-Grund; bunte Fruchtstücke in goldener mit bunten Blumen bekränzter Einfassung.
Sèvres 1777: jetzt im Hamburger Museum für Kunst und Gewerbe.

Weichporzellan. Der Schwerpunkt der modernen Porzellantechnik liegt, wie bei der Keramik überhaupt, in der geschmackvollen Verwendung von Farben und Glasuren auf reichbewegten Flächen. Da aber das sogenannte Hartporzellan, wie es in Meißen und Berlin den Hauptzweig der Fabrikation ausmacht, nur schwer die künstlerischen Ansprüche der Neuzeit zu befriedigen vermag, so war es eine Forderung des Geschmacks, ein Material zu finden, welches dekorationsfähiger war als das schwerflüssige und daher für farbige Scharffeuermalerei wenig geeignete Hartporzellan. In Frankreich hatte man allerdings schon das Frittenporzellan und in England das Knochenporzellan, allein ihre Herstellung ist umständlich und ihr Aussehen weicht von dem Hartporzellan außerordentlich ab, ein Mittelding fehlte noch, und als solches ist das von dem Professor Dr. Seger den japanischen Massen nachgebildete Weichporzellan anzusprechen, welches nach ihm Segerporzellan benannt wurde und das Prototyp für alle späteren Weichporzellane geworden ist. Das Segerporzellan besitzt kein künstliches Flußmittel wie Fritten oder Knochenasche, sondern wird aus denselben Stoffen aufgebaut wie das Hartporzellan, ist in Vergleich zu diesem aber erheblich ärmer an Thonsubstanz, dagegen reicher an Feldspat und Quarz. Infolgedessen wird es bei erheblich niederer Temperatur als das Hartporzellan weich und ist daher für farbigen Dekor weit geeigneter als dieses. Während das Hartporzellan bei Segerkegel 16—18 gebrannt werden muß, wird das Segerporzellan bei Segerkegel 8—10 gar. Die Zusammensetzung des Segerporzellans ist folgende: 25 % Thonsubstanz, 45 % Quarz, 30 % Feldspat. Infolge des geringen Thonsubstanzgehaltes ist es erforderlich, einen Teil der Kaoline durch fette bildsame Thone zu ersetzen, da sonst die Masse nicht mehr formbar sein würde; als solche Thone lassen sich verwenden der Ebernhahner Thon, der Großalmeroder Thon, der Hallesche Kapselthon, der Löthainer Thon oder andere, welche bei Feldspatschmelzhitze weißlich brennend sind und als Steingutthone bezeichnet werden; ein Ersatz des plastischen Thones durch Kaolin kann nur bis etwa zur

Hälfte der Thonſubſtanz erfolgen, da ſonſt die Maſſe zu kurz wird; in Gießmaſſen kann man höher gehen mit dem Kaolingehalt. Seger hat dieſes Porzellan nach jeder Richtung hin techniſch durchgebildet und, als dasſelbe Anfang der achtziger Jahre zuerſt auf den Markt kam, große Erfolge damit errungen; entſprechend der abweichenden Zuſammenſetzung der Maſſe weiſt auch die Glaſur eine von der Hartporzellanglaſur völlig abweichende Zuſammenſetzung auf.

Nach molekularen Verhältniſſen beſteht die Segerporzellanglaſur aus:

$$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}7\ CaO\end{matrix}\right\}\ 0{,}5\ Al_2O_3 + 4\ SiO_2,$$ was nach Gewichtsteilen entſpricht:

167,1 Gewichtsteile Norwegiſcher Kalifeldſpat, 51,8 „ Zettlitzer Kaolin, 70,0 Gewichtsteile Marmor (Kalkſpat, Kreide), 108,0 „ Quarzſand.

182. Leuchter, komponiert von Paul Schley.

Seger hat durch teilweiſen Erſatz des Kalkes oder der Thonerde aus dieſer farbloſen Glaſur eine Reihe farbiger Scharffeuerglaſuren entwickelt und dadurch die Dekorationsfähigkeit der Porzellane ungemein erweitert; die charakteriſtiſchen Glaſuren ſind die kupfergrüne Seladonglaſur, die urangelbe eierpflaumenfarbige Glaſur, die pfirſichblütene Pinkglaſur und die rote Kupferoxydulglaſur, welch letztere er dem sang de boeuf der Chineſen nachgebildet hat. Gerade die letztere iſt von der Manufaktur mit all ihren Spielarten von Grün durch Violett zum feurigen Blutrot mit großer Meiſterſchaft beherrſcht worden.

Auch die ſogenannten Craquelé-Glaſuren verdanken Seger neues Leben; er ſtellte nicht nur die wirklich haarriſſigen Glaſuren auf ſeinem Porzellan her, wie wir ſie auf den orientaliſchen Erzeugniſſen ſehen — die einfachſte derſelben iſt auf der Segermaſſe reiner Feldſpat — ſondern er bildete auch zwei übereinanderliegende, verſchiedenfarbige Glaſuren ſo aus, daß die oberſte netzartig zerriß und die untere mit ihrer Farbe ſichtbar wurde. Seger erreichte dies durch Zuſatz von Thonerde zu der oberen Glaſur.

Zahllos ſind die anderen Techniken, mit welchen Seger ſein Porzellan auszuſtatten verſtand: die Malerei unter der Scharffeuerglaſur, die Malerei zwiſchen zwei Glaſuren, von deren die unterſte eine Scharffeuer-, die oberſte eine Muffelglaſur war, die durchſichtigen Emails, der Muffeldekor in verſchieden gefärbtem Gold u. ſ. w. Genauere Angaben finden ſich darüber in ſeinen im Verlage der Thoninduſtrie-Zeitung zu Berlin erſchienenen Geſammelten Schriften. Vor einigen Jahren iſt auch Sèvres in Anlehnung an Segers Arbeiten mit einem neuen Weichporzellan hervorgetreten, und auch in Böhmen fertigen verſchiedene Fabriken, u. a. diejenige von Knoll in Karlsbad und diejenige von Rießner, Stellmacher und Keſſel in Turn, dem Segerporzellan ähnliche Erzeugniſſe von großer Schönheit an; namentlich in der künſtleriſchen Ausgeſtaltung ihrer Erzeugniſſe leiſtet dieſe letzte Fabrik Hervorragendes, und wir haben daher an geeigneter Stelle Gelegenheit genommen, einige Fabrikate dieſer Anſtalt unſeren Leſern durch Abbildungen vorzuführen. Die Fabrik von Knoll hat namentlich in der Scharffeuer-Unterglaſurmalerei auf Porzellanfliſen Hervorragendes geleiſtet; bei dem überaus lohnenden Beſuch dieſes Etabliſſements findet man dort einen ganz mit Porzellanfliſen und Porzellan-Dachziegeln belegten japaniſchen Pavillon, welcher einzig in ſeiner Art ſein dürfte.

Biskuit- oder **Figurenporzellan.** Solche Porzellanmassen, die besonders zart im Ton und von großem Durchscheinungsvermögen sind, verarbeitet man zu Ziergegenständen, ohne dieselben mit einer Glasur zu versehen, welche die Feinheiten der Modellierung verdecken würde. Alle diese Massen sind sehr feldspatreich, da der Feldspat die Transparenz der Massen außerordentlich zu steigern im stande ist. Beispielsweise enthielt eine von Seger untersuchte Kopenhagener Biskuitmasse:

32 Gewichtsteile Thonsubstanz (reiner Kaolin),
68 „ Feldspat.

Seit einigen Jahren bringt die Berliner Manufaktur ein von Hecht zusammengesetztes Biskuitporzellan in den Handel, welches sich großer Beliebtheit erfreut. Berühmt sind auf diesem Felde ferner die Erzeugnisse von Sèvres und von Kopenhagen; auch die von England unter dem Namen **Parisches** Porzellan oder **Parian** und **Carrara** in den Handel gebrachten Porzellane sind von großer Schönheit.

Die **Fabrikation des Knochenporzellans**, die sich in England zu großer Blüte entwickelt hat, hat in Deutschland bisher keinen festen Fuß fassen können, weil dies Porzellan trotz seiner großen Bedeutung für kunstgewerbliche Arbeiten bei der technischen Herstellung nicht unerhebliche Schwierigkeiten macht und es sich infolge seiner leichten Zerbrechlichkeit zur Darstellung von Gebrauchswaren und Hausgeschirr in keiner Weise eignet. Das Knochenporzellan enthält als Flußmittel die Asche von gebrannten Knochen, welche in großen Mengen aus Südamerika bezogen werden. Der Gehalt des Porzellans an Knochenasche schwankt zwischen 25 und 50%, außerdem enthält dasselbe Kaolin (China clay), plastischen Steingutthon (blue clay), Feldspat, Flint oder Quarz. Da es im Feuer sehr leicht erweicht, so müssen alle Gegenstände in Quarzpulver verpackt gebrannt werden, damit dieses den erweichten und sonst zusammenklappenden Gegenstand trage; nachdem es auf diese Weise unglasiert (wie das Steingut) bei höherer Hitze bis zur beginnenden Verdichtung vorgebrannt ist, wird es mit einer borsäurehaltigen Steingutglasur versehen und bei schwächerem Feuer glatt gebrannt; da diese Glasur zum Teil in den Scherben einsinkt, so verglast sie mit demselben und gibt der Bruchfläche des Knochenporzellans einen geschlossenen Bruch. Dekorationsfähig ist das Erzeugnis in demselben Maße wie Steingut. Vorzügliches Knochenporzellan erzeugen in England die Fabriken von Mintons, Worcester, Coalport und in Schweden die Fabriken von Rörstrand und Gustavsberg.

188. Englisches Weichporzellan: Riechfläschchen, vielfarbig bemalt. Chelsea etwa 1755; jetzt im Hamburger Museum für Kunst und Gewerbe.

Als besondere Spezies der Porzellanfabrikation sei noch die Herstellung der **Porzellanknöpfe** besprochen, deren Fabrikation zu dem Zwecke geschieht, um in den Porzellanknöpfen ein Ersatzmittel für Email, Perlmutter, Elfenbein, Metall u. dergl. Materialien zu haben. Die Erzeugung des Porzellans aus einer plastischen Masse ermöglicht, die komplizierten Arbeiten des Drehens, Bohrens, Glättens u. s. w., welche bei anderen Rohstoffen nötig sind, um aus ihnen einen Knopf zu formen, zu umgehen, indem die Formung einfach durch Pressen geschieht, und da sich dies Verfahren gleichzeitig auf große Quantitäten ausdehnen läßt, während bei der Verarbeitung mit der Hand jeder Knopf einzeln vorgenommen werden muß, so wird es auch wesentlich billigere Erzeugnisse liefern können.

Die Fabrikation der Porzellanknöpfe ist in Deutschland in Herzogenrath bei Aachen und im Badischen, besonders aber in Frankreich, in Briare, auf eine hohe Stufe der Vollkommenheit gebracht worden. Sie hat sich aus der Fabrikation emaillierter Knöpfe, welche seit langer Zeit daselbst betrieben wurde, entwickelt. Wir wollen uns nicht dabei aufhalten, des längeren auseinanderzusetzen, wie die Porzellanmasse zubereitet wird. Es geschieht dies ganz ähnlich jenen Verfahren, welche in Gefäßfabriken eingeschlagen werden,

nur daß die verſchiedene Anforderung, welche bei Knöpfen ſich weniger auf größtmögliche Feſtigkeit bezieht, auch eine etwas abweichende Zuſammenſetzung geſtatten wird. Die Maſſe, welche im weſentlichen aus Feldſpat mit einigen Prozenten Kaolin beſteht, wird als ziemlich trockenes Pulver verarbeitet. Zwiſchen den vier Säulen einer hydrauliſchen Preſſe liegt eine ſtarke Stahl- oder Bronzeplatte, in welcher 4—500, nach Befinden noch mehr Vertiefungen eingraviert ſind, wie ſie der Form der herzuſtellenden Knöpfe entſprechen. Der Arbeiter nimmt eine Handvoll der pulverigen Porzellanmaſſe und ſtreicht ſie über die Platte, ſo daß ſich alle Vertiefungen mit derſelben anfüllen; den Reſt kehrt er ab. Hierauf läßt er die obere Preßplatte heruntergehen. Da dieſelbe auf ihrer unteren Fläche ebenſo viele kleine Erhöhungen hat, wie die Matrize Vertiefungen, und jene in dieſe hineinpaſſen, ſo wird die Porzellanmaſſe durch den ſtarken Druck ſoweit zuſammengepreßt, daß die einzelnen geformten Knöpfchen genug Zuſammenhang beſitzen, um ohne zu zerfallen transportiert werden zu können. Vorher aber müſſen noch die Löcher hineingeſtochen werden, was durch eine zweite Preſſung mittels einer mit Nadelgruppen verſehenen Platte geſchieht, durch deren Druck alle Knöpfe auf einmal mit Löchern verſehen werden. Knöpfe, welche eine Öſe erhalten ſollen, verlangen eine andere Bearbeitung und erhalten anſtatt der durchgehenden Löcher eine bis in die Mitte reichende Vertiefung, welche ſchraubenähnlich gebohrt wird, damit die zum Befeſtigen der Öſe hineingeſchmolzene Lötmaſſe Halt bekommt. Sind die Knöpfe in ſolcher Weiſe vorbereitet, ſo wird die Matrize entleert, indem ein Bogen Papier über ſie geſpannt, ſie ſelbſt umgekehrt leiſe geklopft und in die Höhe gehoben wird. Der Papierbogen, mit den geformten Knöpfen in einen Rahmen geſpannt, wird in dieſem zum Ofen transportiert. Die Öfen ſtehen in parallelen Reihen in einer weiten Halle (ſ. Abb. 186) und ſind derart in unausgeſetzter Thätigkeit, daß der Brenner in dem Moment, wo er eine fertig gebrannte Platte aus der Muffel herauszieht, von einem Arbeiter einen jener Papierrahmen erhält, auf welche die von der Matrize gepreßten Knöpfe übertragen worden ſind. Dieſer Papierbogen wird auf die noch glühende Platte gelegt, er verbrennt ſofort, aber die kleinen Thonkörperchen liegen nun in regelrechter Anordnung nebeneinander, ohne ſich zu berühren, und können in den Ofen geſchoben und daſelbſt gebacken oder gebrannt werden. In 6—10 Minuten, je nach der Größe, ſind die Knöpfe gebrannt, und in dieſer Zeit müſſen ſo viele friſche Rahmen zum Ofen geliefert worden ſein, als Muffelplatten in Thätigkeit ſind.

184. Standuhr im Geſchmack Anfang des 18. Jahrhunderts. (Berliner Manufaktur.)

Gewiſſe Knöpfe ſind damit fix und fertig und können ſofort auf die Karten geheftet und in den Handel gebracht werden. Andere aber werden noch bemalt, vergoldet oder mit Lüſtern verſehen, oder erhalten Öſen und unterliegen demzufolge noch einer verſchiedenartigen Behandlung. Das Bemalen beſteht in der Regel in dem Anbringen einer kreisförmigen farbigen oder vergoldeten Verzierung oder in einem ſchottiſchen Muſter von rechtwinkelig ſich kreuzenden bunten Linien. Das letztere wird aufgedruckt, die kleinen Ringe aber werden mit dem Pinſel ausgeführt, indem der Knopf, von zwei Spitzen in

seinen Löchern gehalten, durch ein Zahngetriebe in sehr rasche Umdrehung versetzt und der in Farbe getauchte Pinsel mit seiner Spitze einen Augenblick an der betreffenden Stelle daran gehalten wird. Der Arbeiter oder die Arbeiterin, welche dies ausführt, hat einen Apparat vor sich, auf welchem Hunderte von Knöpfen zu gleicher Zeit aufgesteckt sind und sich drehen, so daß in der kürzesten Zeit alle diese mit ihrer Verzierung versehen werden können. Das Aufbringen der Lüster (Perlmutterlüster u. a.) geschieht in ähnlicher Weise oder durch Verflüchtigen von Alkali- und Erdalkalisalzen durch Einstreuen derselben in den Ofenraum; der Lüster ist vor allen Dingen dazu bestimmt, den Knöpfen erhöhten Glanz zu verleihen. Als farblose Lüster werden Wismut-, Blei- und Zinklüster verwendet; die farbigen Lüster werden aus den Nitraten oder Sulfaten der färbenden Metalle durch Schmelzen derselben mit Kolophonium und Lösen der Schmelze in Lavendelöl dargestellt.

185. Fliesengemälde von A. Kips im Kaiserlichen Schloß zu Berlin. (Berliner Manufaktur.)

Das Anbringen der Ösen ist komplizierter. Es setzt zunächst eine schraubengangähnliche Vertiefung im Knopfe selbst, ein entsprechend großes Körnchen Lötmasse, ein kleines Metallschild, welches an den Knopf angelötet wird, und die Öse selbst voraus, welche ihrerseits an dem kleinen Schilde befestigt ist. Selbstverständlich helfen auch hier überall Maschinen; die Vertiefungen werden hineingepreßt, die Schildchen aus Blechtafeln ausgeschlagen und die Ösen aus Messingdraht mittels Maschinen zu Tausenden auf einmal hergestellt. Allein die Maschinen können nicht alles thun, und besonders ist es noch nicht gelungen, die Vereinigung der Ösen mit dem Schildchen anders zu bewerkstelligen als mit der Hand. Daraus hat sich in der Umgegend von Briare für solche Leute, welche, wie Schäfer, Kindermädchen u. a., eine leichte Nebenbeschäftigung bei ihrer Arbeit treiben können, ein eigentümliches Thätigkeitsfeld eröffnet. Anstatt daß dieselben, wie bei uns, etwa stricken, machen sie dort Ösen für die Porzellanknopffabriken zurecht.

Die Operation des Aufsetzens und des Anlötens erfolgt dann ebenfalls wieder in durchbrochenen Rahmen, welche Sicherheit geben, daß die Öse an die richtige Stelle kommt.

Schließlich werden alle solche Knöpfe noch auf ihre Festigkeit geprüft, ehe sie dutzendweise auf Karten geheftet und in den Handel gebracht werden.

Da die Dekoration über der Glasur bei allen Porzellanen in der gleichen Weise geschieht, so soll sie auch erst an dieser Stelle im Zusammhang besprochen werden.

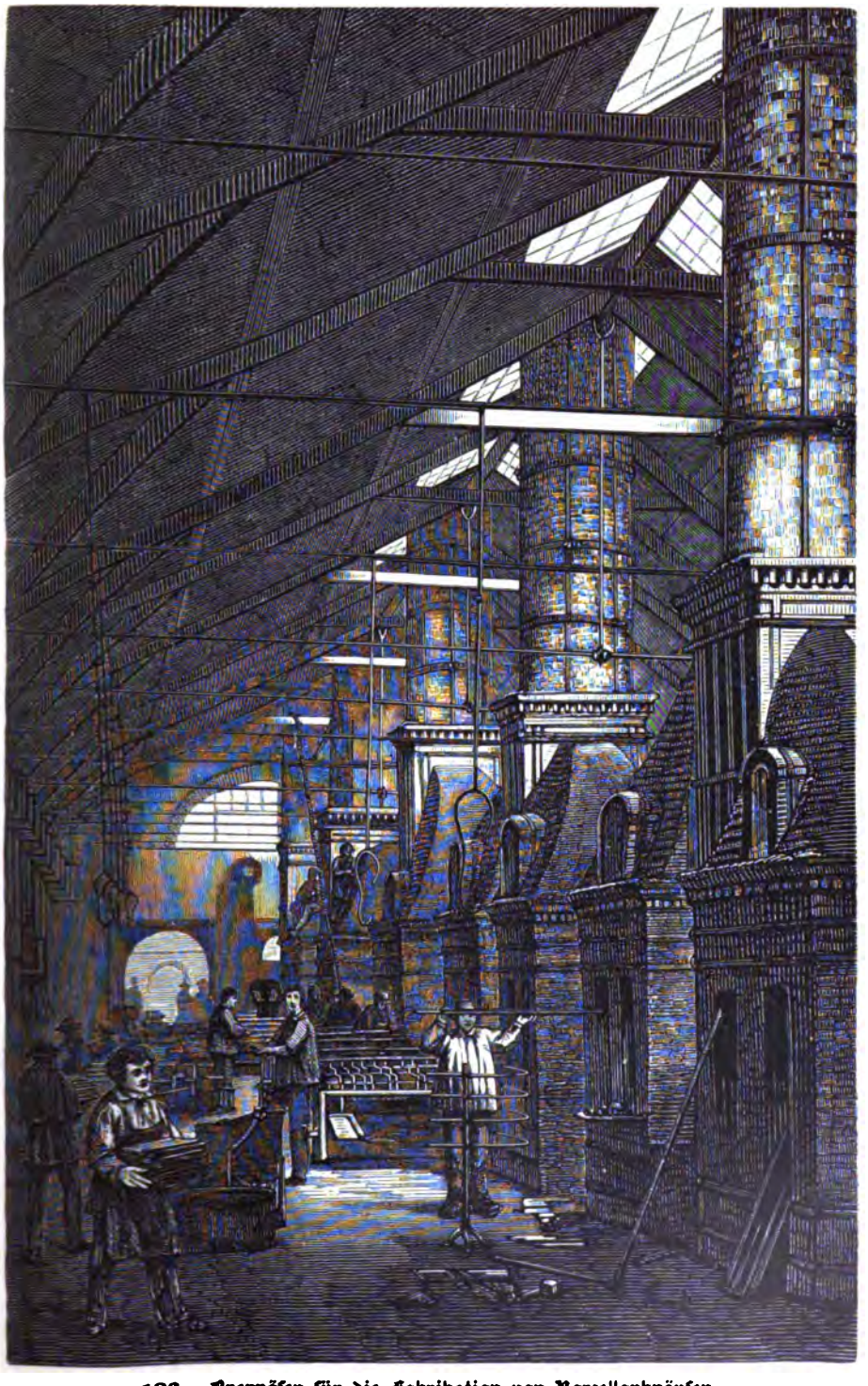
Die Porzellanmalerei. Das Porzellan kommt aus dem Glattbrandofen als eine weiße, etwas durchschimmernde Masse mit einer glänzenden weißen oder farbigen Glasur oder einer matten Oberfläche, je nachdem es vorher glasiert worden ist oder nicht. In vielen Fällen soll es aber noch weiter mit Gold oder Farben dekoriert d. h. bemalt werden. Wenn wir von der Bemalung zwischen zwei Glasuren, von denen die oberste eine Muffelglasur ist, absehen, so gebietet die Malerei auf der Glasur über einen bei weitem größeren Farbenreichtum als die Unterglasurmalerei, außerdem ist ihr der Umstand günstig, daß vor dem Brennen die Farbe nicht fest auf der Unterlage haftet und behufs von Verbesserungen wieder weggewischt werden kann. Sie wird daher für ausgeführtere Gemälde und bunte Dekorierung verwendet und läßt eine sehr feine, zarte Behandlung zu. Allerdings hat sie nicht die Dauerhaftigkeit der Scharffeuerfarben, denn sie bildet immer eine etwas hervorstehende Decke von geringerer Härte, welche der Abnutzung leichter unterworfen ist, und verlangt ein wiederholtes Brennen, damit die Farben in Fluß kommen, die gewünschte Tiefe erhalten und sich mit der Glasur verbinden. Porzellanmalereien mit einigermaßen reicher Farbenabwechselung müssen immer mehrmals in die Glühhitze und können nur nach und nach vollendet werden. Ja gerade die zartesten Partien, wie Fleischtöne u. dergl., erfordern die meisten Brände.

Zur Porzellanmalerei gehören, wie zur Glasmalerei, mineralische Farben, Metalloxyde; sie können mehr färbende Bestandteile haben als die Glasfarben, da bei ihnen nicht, wie bei jenen, Durchsichtigkeit Bedingung ist. Man hat Farben für volles und halbes Muffelfeuer, und solche, die noch leichtflüssiger sind; im allgemeinen liegt die Temperatur, welche zum Einbrennen des Überglasurdekors dient, zwischen den Segerkegeln 017 und 012, d. h. zwischen 600 und 800° C. Die gewöhnlichen Farbstoffe sind: Goldpurpur für alle Farben vom Rosa bis zum Karmin und Violett, Eisenoxyd für andere rote Töne, Blau, Braun, Gelb, Violett, Antimonoxyd mit Bleiglas für Strohgelb, Kobaltoxyd für Blau, Kupferoxyd für Grün, Chromoxyd für Gelb, Titanoxyd für Gelb, Rot und Grün, Eisen-, Mangan-, Kobaltoxyd und Iridiumoxyd für Schwarz u. s. w. Diese Farbstoffe werden mit einem meist bleiischen Glasfluß versetzt und in Gestalt eines möglichst zarten Pulvers mit Dicköl, d. i. verharztes Terpentinöl, verrieben und mit dem Pinsel aufgetragen. In manchen Fällen muß das Metalloxyd aber vorher mit dem Fluß zusammengeschmolzen werden, wodurch es verglast wird, und man unterscheidet demzufolge Schmelzfarben und Frittefarben. Als Farbenflußmittel wendet man verschiedenartige Verbindungen, Bleigläser, Alkaligläser, Borate und anderes, für die Vergoldung auch basisch salpetersaures Wismutoxyd an.

Das Einbrennen der Schmelzfarben geschieht in besonders für diesen Zweck konstruierten Öfen, den sogenannten Muffeln. Erst nach dem Einbrennen erscheinen die Farben in der gewünschten Nuance und als festhaftende glänzende Überzüge, die infolge ihres Gehalts an Flußmitteln auf diejenigen Stellen der Glasur, welche sie bedecken, oberflächlich erweichend eingewirkt und sich mit der Glasur fest verbunden haben.

Da die in den Farben enthaltenen Flußmittel sehr blei- und alkalireich sind, so muß beim Einbrennen die Einwirkung reduzierender Gase ferngehalten werden, da die Farben sonst unverbrannte Rußteile aufnehmen oder, wie der Techniker sagt, verrauchen. Man brennt die dekorierten Gegenstände daher in Chamottekästen, welche in sich geschlossen, ringsum vom Feuer umspült werden. Diese sogenannten Muffeln sind je nach der Art der darin zu brennenden Gegenstände von verschiedenem Querschnitt und entweder im ganzen aus Chamotte und feuerfestem Thon geformt oder aus einzelnen Chamottekacheln aufgebaut. Die vordere Öffnung, welche zum Einsetzen der Waren dient, wird durch zwei Platten geschlossen; eine mit Geschirr vollgesetzte Muffel für periodischen Betrieb veranschaulicht Abb. 189.

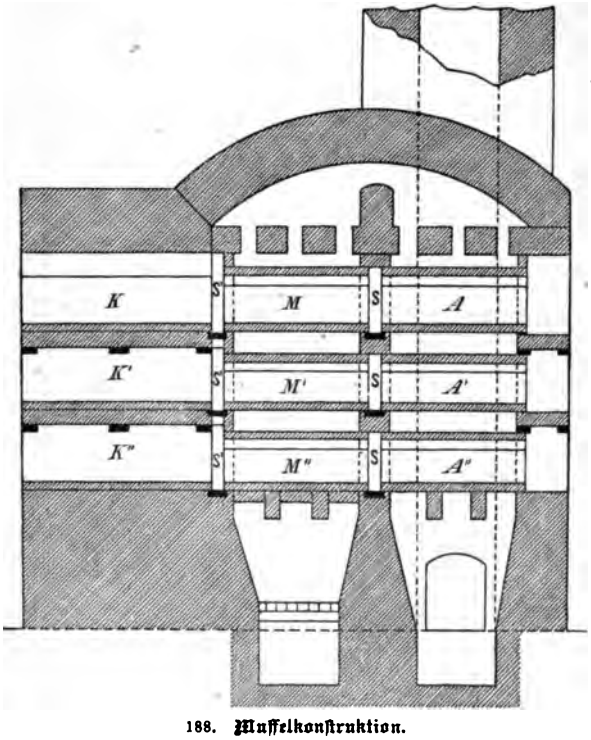
Sofern Schmelzfarben in ihnen gebrannt werden sollen, bevorzugt man das Holzfeuer vor dem Kohlenfeuer. Neuerdings ist man an der Königl. Porzellanmanufaktur zu Meißen wegen der hohen Holzpreise fast ganz zur Kohlenfeuerung übergegangen



186. Brennöfen für die Fabrikation von Porzellanknöpfen.

und verwendet Braunkohle mit etwa $^1/_3$ Vol. Kokszusatz, um die Rauchentwickelung zu mindern. Eine für Massenfabrikation besonders zweckmäßige Muffelkonstruktion, wie sie in Thüringen vielfach zu finden ist, ist nebenstehend abgebildet; es ist dies das System der sogenannten Zug- oder Durchschiebemuffeln. A, A_1, A_2 sind die Aufwärme-, M, M_1, M_2 die eigentlichen Schmelz- und K, K_1, K_2 die Kühlmuffeln. Die Aufwärmemuffeln sind frisch und mit neuen Waren gefüllt; sobald sie eine gewisse Wärme erreicht haben und die nebenliegende Schmelzmuffel gut ist, werden die Schieber S und S_1 gezogen, die Kühlmuffel entleert, die gut gebrannte Muffel zum Kühlen versetzt und die angewärmte zum Gutbrennen. Auf diese Weise wird der Betrieb ein kontinuierlicher und sehr ökonomisch; diese Muffeln sind aber nur zum Brennen kleinerer, wenig empfindlicher Gegenstände geeignet. Neuerdings hat sich noch ein anderes kontinuierlich betriebenes Muffelsystem eingeführt, die sogenannte Fürbringer-Muffel, welche ein hufeisenförmiger Kanalofen ist, durch den die Gegenstände hindurch geschoben werden.

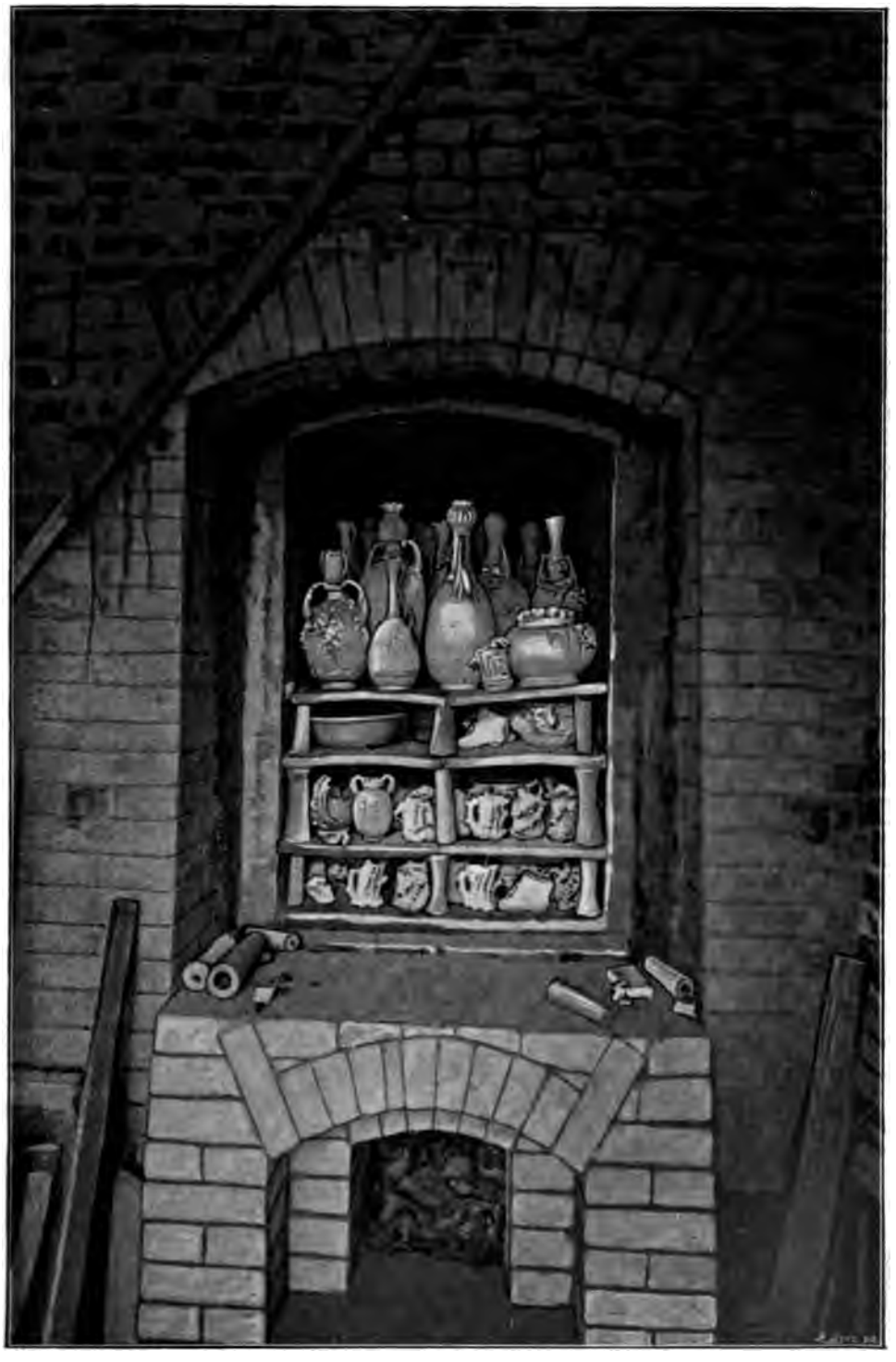
187. Kännchen aus Meißener Porzellan, bemalt mit bunten Blumen. (Mitte des 18. Jahrh.), jetzt im Hamburger Museum für Kunst und Gewerbe.



188. Muffelkonstruktion.

Größere Porzellangegenstände müssen in eigenen größeren Muffelöfen äußerst langsam erwärmt werden, da sie sonst leicht zerspringen. Durch ein Schaurohr im Vorsetzer dieser Öfen beobachtet man nach dem Verschmelzen der Segerkegel das Steigen der Temperatur. Oder man brennt nach Zugproben ab, indem man kleine Porzellanscherben, welche mit den zu brennenden Farben bestrichen sind, an Eisendraht durch das Schaurohr in die Mitte der Muffel einführt. Durch zeitweiliges Herausziehen überzeugt man sich von dem Glanz, den die Farben annehmen, und hört mit dem Feuern auf, sobald die Proben spiegelnd sind.

Für den Glanz und die Lebendigkeit der Farben ist es von Wichtigkeit, daß man nach dem Anwärmen der Muffel bei halb geöffnetem Vorsetzer das Öl erst möglichst ab-



189. Eine gefüllte Muffel vor dem Feuer.

dampfen läßt; nachher muß möglichſt ſchnell gebrannt und gekühlt werden, denn je länger ein Glasfluß einer Hitze ausgeſetzt iſt, welche ſeinem Schmelzpunkt nahe liegt, deſto leichter entglaſt er; es bilden ſich meiſt nur unter der Lupe oder dem Mikroſkop wahrnehmbare Kryſtällchen in dem Glasfluß, welche dem bloßen Auge als Erblindung erſcheinen. Nachdem die Muffel fertig gebrannt iſt, wird ſie demnach durch Offenlaſſen der Züge ſchnell auf dunkle Rotglut abgekühlt; erſt dann verſchließt man die Feuerung loſe durch Chamotteplatten und läßt die Nacht über ſtehen, bevor man die Muffel ausnimmt.

Die Vergoldung des Porzellans geſchieht entweder durch echtes Gold, welches man aus einer Löſung in Königswaſſer durch irgend ein Reduktionsmittel als ſtaubfeines Pulver niederſchlägt und nach dem Auswaſchen und Trocknen mit einem Flußmittel wie Wismutnitrat und zur Verdünnung mit Queckſilberoxyd verreibt, oder durch Glanzgold, ein Präparat, welches zuerſt und mit großem Erfolg in Meißen hergeſtellt worden iſt. Während das echte Gold nach dem Einbrennen matt erſcheint und noch mit dem Achat poliert oder mit feuchtem Sand abgerieben werden muß, kommt das Glanzgold mit glänzender Oberfläche aus dem Brand und bedarf eines nachherigen Polierens nicht; zur Herſtellung von Glanzgold löſt man Schwefelgold in Schwefelbalſam. Heutzutage iſt dasſelbe aber ein ſo ausgedehnter Handelsartikel geworden, daß man beſſer thut, es zu kaufen, als ſelbſt welches herzuſtellen, da die Fabrikation eines guten Präparates mit gewiſſen Schwierigkeiteu verknüpft iſt. Beſonders berühmt iſt das Paſſauer Glanzgold.

In den letzten Dezennien ſind weſentliche Fortſchritte in der Porzellanfabrikation zu verzeichnen geweſen und namentlich durch die Arbeiten Segers eine große Anzahl techniſcher Anregungen und durch die ſchönen Erzeugniſſe der Staatsfabriken auch in künſtleriſcher Hinſicht nachahmenswerte Vorbilder entſtanden, die veredelnd auf die Geſchmacksrichtung der größeren Privatfabriken in Thüringen, Schleſien und Böhmen gewirkt haben. Ebenſo ſind auch auf den übrigen Gebieten der vaterländiſchen Thonwareninduſtrie Fortſchritte zu verzeichnen — ich erinnere an das Aufblühen der Induſtrie feuerfeſter Produkte, die bei uns kaum fünfzig Jahre alt iſt, an die Umgeſtaltung, welche die Ziegelfabrikation durch Einführung des Ringofens, der künſtlichen Trocknung, ſowie der maſchinellen Herſtellung der Steine überhaupt erfahren hat, an die Einführung der Gaskammeröfen u. a. m. — woraus hervorgeht, daß die Thonwareninduſtrie Deutſchlands zur Zeit nicht nur ganz vorzügliche Leiſtungen aufzuweiſen hat, ſondern trotz aller Konkurrenz auf dem Weltmarkt und trotz der Anforderungen, welche die Geſetzgebung durch Arbeiterverſicherungen, Invaliditäts- und Krankenfürſorge dem Unternehmer aufbürdet, noch gut und bei angemeſſenen Preiſen noch mit Vorteil zu produzieren verſteht.

190. Deſſertteller vom Service Friedrichs des Großen.
Muſter Reliefzierat mit Spalier, bemalt mit bunten Blumen, jetzt im Hamburger Muſeum für Kunſt und Gewerbe.

Glasinduſtrie.

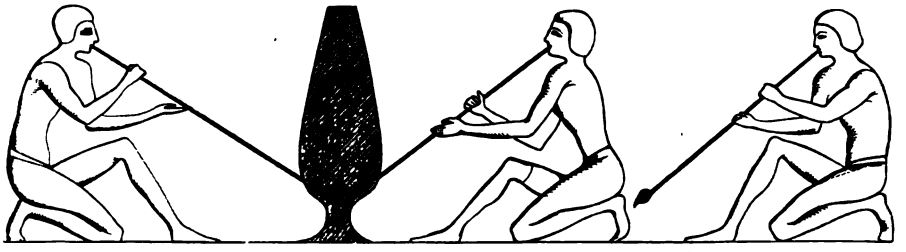
Einleitung. Bedeutung und Geſchichte des Glaſes.

Glas iſt ein Produkt, welches durch Zuſammenſchmelzen von Oxyden, unter denen die Kieſelſäure vorherrſcht, in der Glühhitze erhalten wird. Die geſchmolzene Maſſe iſt in der Glühhitze bildſam und formbar, ſie erſtarrt nach dem Erkalten zu einem, in den meiſten Fällen vollkommen durchſichtigen Körper, dem eigentlichen Glaſe. Die chemiſchen und phyſikaliſchen Eigenſchaften desſelben, verbunden mit ſeiner verhältnismäßig billigen Herſtellungsweiſe und ſeinem niedrigen Preiſe, verleihen dem Glaſe ſeine hohe kulturhiſtoriſche Bedeutung. Ohne Erfindung des Glaſes würde die Entwickelung der Kulturverhältniſſe bei allen Völkern der Erde wohl eine andere geworden ſein. Das Glas iſt heutzutage ein geradezu unerſetzliches Material für zahlloſe Zwecke geworden, und wir würden ohne dasſelbe viele Geräte zum Gebrauch im Hauſe und vor allem zur Benutzung für wiſſenſchaftliche Zwecke entbehren müſſen. Es iſt unzweifelhaft, daß die Naturwiſſenſchaften, insbeſondere: Chemie, Phyſik, Aſtronomie und Optik, nicht auf der hohen Stufe ſtehen würden wie heute, wenn ihnen nicht durch Entdeckung des Glaſes und Verarbeitung desſelben zu den verſchiedenſten Gefäßen und Apparaten ein unſchätzbares und hochwichtiges Hilfsmittel gegeben worden wäre. Demzufolge würde auch der Standpunkt unſerer geiſtigen Bildung ein niedrigerer ſein; mit der Glasinduſtrie und deren Entwickelung iſt alſo unſer Geſichtskreis erweitert, unſer Gedankenflug ein höherer und gewaltigerer geworden. Man ſieht in der Erfindung des Glaſes mit Recht eine der wichtigſten.

Über die Abſtammung des Wortes „Glas“ ſind verſchiedene Anſichten laut geworden. Aus der Ähnlichkeit des Glaſes mit dem Eis leiten viele das Wort Glas von glace = Eis ab, von anderen wird angenommen, daß es von glastum ſtammt, womit man eine Waidpflanze bezeichnete, deren Aſche zur Glasfabrikation benutzt wurde. Gallier und Briten nannten den Bernſtein glassum, und daher ſind viele Forſcher der Meinung, daß dieſes Mineral der Urſprung des Wortes Glas ſei. Alte Schriftſteller bezeichneten glänzende Gegenſtände, die durchſcheinend waren, mit Glas; es iſt daher am wahrſcheinlichſten, daß die Bezeichnung von dem altſächſiſchen glisnian = gleißen, oder von dem angelſächſiſchen gelexan = glänzen abzuleiten iſt.

Die Glasfabrikation iſt uralt, und es iſt deshalb ſchwer, einem Volke bei den mangelhaften Überlieferungen aus dem Altertum mit Beſtimmtheit die Erfindung des Glaſes oder die Kunſt, Glas zu machen, zuzuſchreiben. Für gewöhnlich nimmt man an, daß Ägypten, wo im grauen Altertume ſchon viele Künſte und Wiſſenſchaften gepflegt wurden, auch das Vaterland der Glasmacherkunſt ſei. Nach einer anderen Überlieferung durch Flavius Joſephus ſollen die Israeliten dieſen Induſtriezweig zuerſt erfunden und ausgebeutet haben. Gelegentlich eines Waldbrandes haben die Juden nach einer Erzählung glaſige, durch Zuſammenſchmelzen der Aſche und des Sandes entſtandene Maſſen gefunden, die ſie ſpäter künſtlich nachzubilden verſuchten. Thatſache iſt, daß die Juden im Mittelalter als geſchickte

Glasbläſer bekannt waren und vermutlich ſchon früher durch ihren Aufenthalt in Ägypten und durch die Nähe von Phönicien mit dieſem Material bekannt geworden ſind. Nach einer bekannten Überlieferung ſind die Phönicier die Erfinder des Glaſes; Plinius erzählt uns hierüber: Phöniciſche Kaufleute landeten mit ihrem Schiffe, das mit Soda befrachtet war, einſt bei ſtürmiſchem Wetter in der Nähe der Mündung des Fluſſes Belus, an deſſen ſandigen, ſteinfreien Ufern ſie ihre Keſſel auf einige Klumpen Soda ſtellten und abkochten. Nach Beendigung ihrer Mahlzeit zeigte ſich zu ihrem Erſtaunen auf dem Sande eine durchſichtige Maſſe. Dieſe zufällige Entdeckung verſtanden die intelligenten Leute dann mit Glück zu ihrem Nutzen auszubeuten. Der an den Ufern des Belus gefundene Sand ſtand in der That noch lange in dem Rufe, zur Glasfabrikation vorzüglich geeignet zu ſein, und wurde, außer in den Glashütten an Ort und Stelle, auch anderwärts vielfach verarbeitet und ſehr geſucht. Die Pliniusſche Erzählung kann man jedoch nicht für buchſtäblich wahr halten, denn es iſt unwahrſcheinlich, daß an dem Fluſſe Belus, in unmittelbarer Nähe des Berges Karmel, ſich keine Steine vorgefunden haben ſollten. Außerdem iſt wohl kaum anzunehmen, daß die Hitze, welche ſich beim Kochen der Speiſen entwickeln konnte, ſtark genug war, um eine vollſtändige Verglaſung herbeizuführen. Immerhin iſt es möglich und ſogar höchſt wahrſcheinlich, daß die erſten Glasflüſſe Erzeugniſſe des Zufalls waren. Mehrfache Funde in den altägyptiſchen Denkmälern deuten auf eine frühe Blüte der Glasmacherkunſt in Ägypten, und die Phönicier, die in einem lebhaften Handelsverkehr mit Ägypten ſtanden, werden vermutlich nur den Handel mit Glaswaren vermittelt und die Glasmacherkunſt erſt von den Ägyptern erlernt haben.



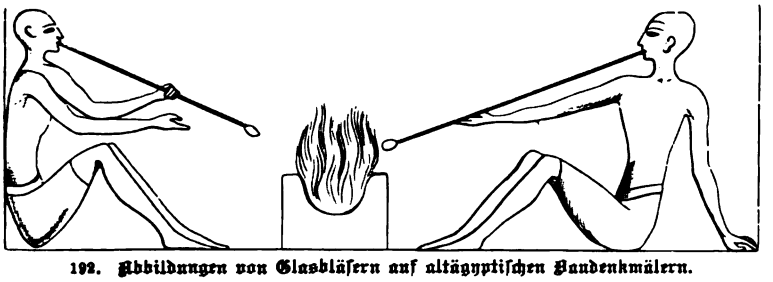
191. Abbildungen von Glasbläſern auf altägyptiſchen Baudenkmälern.

Der Altertumsforſcher Wilkinſon hat beſtimmte Beweiſe erbracht, daß die Ägypter die Glasmacherkunſt ſchon vor dem Auszuge der Israeliten gekannt haben. Es finden ſich Gemälde zu Beni-Haſſan und Theben, auf denen arbeitende Glasmacher dargeſtellt ſind, während die Hieroglyphen andeuten, daß dieſe Bilder unter der Regierung eines Herrſchers entſtanden ſind, der etwa 1600 Jahre v. Chr., alſo vor etwa 3500 Jahren gelebt hat. Ferner iſt es ſicher, daß zu jener Zeit Bilder von glaſiertem Steinzeug ſehr verbreitet waren, deren Glaſur dieſelbe Beſchaffenheit zeigte, wie ſie unſer Glas beſitzt. Endlich wurde von dem Kapitän Honey zu Theben eine Glasperle aus dem Halsſchmuck der Königin Hataſu, der Gemahlin des Königs Tuthmoſis III., von 2 cm Durchmeſſer aufgefunden, die in Hieroglyphen den Namen des genannten Königs trägt, der in dem Jahre 1500 vor Beginn unſrer Zeitrechnung lebte. Eine durch ihre Inſchrift auf denſelben Herrſcher hinweiſende Vaſe, ſowie mehrere in Theben aufgefundene Flaſchen, welche aus demſelben Grunde ein faſt 4000jähriges Alter haben, repräſentieren die älteſten Zeugen einer immerhin ſchon auf höherer Stufe ſtehenden Glasmacherkunſt. Die beiden Abb. 191 u. 192 zeigen uns beiſpielsweiſe altägyptiſche Abbildungen, bezüglich deren wir freilich in der Technik, wie ſie heute geübt wird, kein entſprechendes Beiſpiel finden; die Art und Weiſe, wie die Vaſe (wenn ſolche wirklich auf die Weiſe hergeſtellt ſein ſoll) von zwei Glasbläſern geblaſen wird, erſcheint uns ſo kaum ausführbar. Mit ziemlicher Wahrſcheinlichkeit wird man wohl annehmen können, daß die Prieſter des „Vulkan“, zu Theben und Memphis die eigentlichen Erfinder der Kunſt, Glas zu machen, geweſen ſind. In Ägypten waren Glashütten nicht ſelten; die Toten umgab man mit gläſernen Schränken; Vaſen und Töpfe wurden mit Emaille von allen Farben verziert, und noch jetzt ſind einige

vorzügliche Kunstwerke mit blumigen Zeichnungen und Fadenglas ähnlichen Arbeiten vorhanden, die für sich selbst sprechen. Anderseits müssen wir den Erzählungen von Herodot, Theophrast, Plinius u. s. w. Glauben schenken, die von mächtigen Säulen und Statuen aus Glas berichten. Im Britischen Museum finden sich mehrere Glasfragmente, die aus den Glasfabriken von Sidon stammen sollen, und auf denen der Name des Verfertigers eingepreßt ist. Neben Tyrus und Sidon war Alexandrien lange wegen seines Handels mit Glaswaren, die zunächst meistens Schmuck- und Ziergegenstände waren, berühmt.

Die Glasmacherkunst ist auch anderen Völkern des Altertums sehr bald bekannt geworden; hierfür sprechen Ausgrabungen in Ninive, wo Glasbecher gefunden wurden, welche zum Teil auf das 8. Jahrhundert v. Chr. zurückweisen. Die Ägypter behaupteten jedoch ihre alte Geschicklichkeit als Glasmacher noch zur Zeit der Römerherrschaft, und ihre Erzeugnisse zeigten zu der Zeit schon die höchste Vollendung. Besonders fertigte man Vasen und Trinkgeschirre an, die als Gegenstände des höchsten Luxus betrachtet wurden. Unter Aurelian waren die Ägypter verpflichtet, Tribut in Glas zu leisten. Hadrian war im Besitz von Trinkgläsern in verschiedenen Farben, die nur bei den seltensten Gelegenheiten benutzt wurden. Um die Mitte des 16. Jahrhunderts wurde in der Umgebung von Rom, in dem Grabe von Alex. Severus, die berühmte Barberini- oder Portlandvase gefunden, die sich jetzt ebenfalls im Britischen Museum befindet. Ihre Masse besteht aus einem blauen Glase, welches reich mit weißen Reliefs verziert ist.

Die römische Glastechnik fußte auf der Ausbildung, welche die Kunst in Ägypten erlangt hatte, und namentlich waren es die Glashütten von Alexandrien, die ihre



192. Abbildungen von Glasbläsern auf altägyptischen Baudenkmälern.

besten Werke nach Rom schickten und späterhin selbst Arbeiter und Künstler hinsandten, welche die dort geübten Verfahren nach Rom übertrugen. Bekannt war indessen den Römern das Glas schon früher nach den Erwerbungen in Asien zur Zeit Ciceros, und Etrurien und Unteritalien erfreuten sich schon früh einer kunstreichen Glasindustrie. Die Ausgrabungen in Pompeji beweisen, daß zu Anfang unserer Zeitrechnung hier die vollendetsten Arbeiten ausgeführt wurden. Surrentum (Sorrent) war durch seine Schleifereien und Ziselierungen namentlich verzierter Gefäße berühmt. In Rom selbst wurde die erste Glashütte unter der Regierung Neros in der Nähe des Flamininischen Zirkus errichtet. Sie lieferte aber nur schlechte Trinkgläser. Im Jahre 210 n. Chr. gab es jedoch in Rom schon so viele Glasmacher, daß ihnen ein bestimmtes Stadtviertel angewiesen wurde. Es wurde so viel Glas fabriziert, daß man eine Abgabe darauf legte. Schon damals verwandte man das Glas selbst in der Baukunst als Belag für Fußböden und Verzierungen der Wände, auch ist durch die Ausgrabungen in Pompeji erwiesen, daß die Römer schon Glasfenster gehabt haben. Dieselben scheinen gleich in der erforderlichen Größe gegossen worden zu sein, denn sie haben keine geschnittenen, sondern rundlich geflossene Ränder. Wie in der eigentlichen Glasfabrikation selbst, so gelangten die Römer auch in der Glasraffinerie zu einer hohen künstlerischen Vollkommenheit, von welcher namentlich die durch den Schliff hergestellten durchbrochenen Gläser, die sogenannten Diatreta, beredtes Zeugnis ablegen. Nicht unerwähnt mag eine Erfindung bleiben, die ein römischer Architekt unter der Regierung des Kaisers Tiberius gemacht haben soll. Dieser wollte ein hämmerbares Glas erfunden haben und hoffte durch diese Erfindung wieder in Rom, aus dem er verbannt war, in Gnaden aufgenommen zu werden.

Tiberius ließ aber den Entdecker hinrichten, weil er fürchtete, daß durch diese Entdeckung Gold und Silber entwertet würden. Auch später tauchten in Frankreich Leute auf, die hämmerbares Glas herstellen zu können vorgaben. Auch gab es Alchimisten, die diese Kunst zu beherrschen behaupteten, doch hörte man nicht, daß solches wirklich hergestellt ist. Erst den neueren Bemühungen de la Bastie's, Piepers, Meusels, Schotts, Siemens' u. a. ist es schließlich gelungen, ein Glas herzustellen, das sich durch große Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel und gegen Schlag und Stoß auszeichnet. Diese Glassorte wird mit Hartglas, elastisches Glas oder Bulkanglas bezeichnet. — Vom 3. Jahrhundert ab geriet jedoch die römische Glasindustrie in Verfall, vermutlich deshalb, weil die Herrscher der Kunst nicht mehr das Interesse entgegenbrachten wie früher; äußerte doch ein Kaiser des 3. Jahrhunderts, ein so gewöhnlicher Artikel wie Glas sei ihm zuwider, er wolle nur aus goldenem Becher trinken. Das Material selbst blieb in Anwendung, seine künstlerische Verwendung jedoch verlor sich mehr und mehr und damit auch allmählich die Kunstfertigkeit seiner Bearbeitung.

Ob den Chinesen — wie so viele andere Gewerbe — auch die Glasmacherkunst früher als den Ägyptern bekannt gewesen sei, wissen wir nicht. Aus den Memoiren und Berichten der Missionare von Peking geht zwar hervor, daß die Glasindustrie bereits vor länger als 2000 Jahren in China bekannt war, jedoch scheint auch hier das Glas hauptsächlich zur Herstellung von Luxuswaren gebraucht worden zu sein.

In alten germanischen und slawischen Gräbern finden sich ebenfalls Glasüberreste, allein man ist hierbei nicht im stande zu erkennen, ob dieselben von den Urbewohnern selbst gefertigt oder auf dem Wege des Handels zu ihnen gelangt sind. Sind es eigene Produkte, so dürfte die Glasmacherei bei den Slawen ein höheres Alter haben, als bei den Germanen, denn in den Grabstätten jener finden sich Glasgegenstände noch mit Steinwerkzeugen und Steingeräten zusammen, während die alten Deutschen, bevor sie das Glas kennen lernten, anscheinend bereits eine ziemliche Stufe der Metallbearbeitung erstiegen hatten. In den altnordischen Heldenliedern und Mythen findet man das Glas öfters erwähnt, und ebenso spielt es in den Sitten und Gebräuchen der keltischen Völker die Rolle, die es infolge seiner Klarheit und Schönheit einzunehmen berechtigt ist. Unter den auf den britischen Inseln ausgegrabenen, aus der Druidenzeit stammenden Gegenständen finden sich farbige Glasperlen und Amulette; hieraus haben Altertumsforscher den Schluß ziehen zu dürfen geglaubt, daß die Glasmacherkunst schon vor dem römischen Einfall in Großbritannien bekannt gewesen sei. Es ist jedoch kaum anzunehmen, daß ein Volk, welches so geringe Spuren von Zivilisation zeigte und dem keine von allen übrigen Künsten bekannt war, schon in die komplizierten Prozesse dieses Industriezweiges eingeweiht gewesen sei und darin vollkommenes geleistet habe, denn die Amulette der Druiden zeugen von einer gewissen Geschicklichkeit der Anfertiger und sind häufig schön gefärbte Nachahmungen der kostbarsten Schmucksteine. Viel wahrscheinlicher ist es, daß die alten Briten diese durch ihren Verkehr mit den Syrern erhielten, die häufig die Insel besuchten und Tauschhandel trieben. Von den Römern wurden die Gallier in der Kunst des Glasmachens unterrichtet, deren Kenntnis nicht viel später auch nach England gelangt sein dürfte.

Es sind antike Gläser analysiert worden, die — obwohl von verschiedenen Fundorten und verschiedenem Aussehen — doch sämtlich eine große Übereinstimmung in ihrer Zusammensetzung aufweisen. Die alkalische Basis in denselben ist Natron — aus der ägyptischen Soda, dem „nitrum" der Alten — und erst die Einführung der Soda aus den Seepflanzen scheint den geringen Kaligehalt, der sich in einzelnen alten Glassorten vorfindet, bewirkt zu haben. Daß dem Glassatze auch schon Braunstein hinzugegeben wurde, geht aus der chemischen Untersuchung ebenfalls hervor, und wahrscheinlich ist es dieses Material, welches Plinius mit „magnes lapis" als einer Zuthat erwähnt, die man fälschlicherweise für Magnetstein gehalten hat. Da nun auch Kalk — teils als Muschelschalen, teils als Marmor — unter die Bestandteile gehörte, so haben wir bereits alle diejenigen Substanzen zusammen, welche auch jetzt noch für die gewöhnlichen Weißglassorten in Anwendung sind. Außer dem schon erwähnten Flusse Belus war der Volturnus wegen seines guten Sandes bei den alten Glasmachern ganz besonders

berühmt, etwa ebenso wie es heute die Sandablagerungen von Fontainebleau, von Niselstein bei Aachen oder von Hohenbocka sind. Da sich in der ägyptischen Soda ein ziemlicher Gehalt an Kochsalz findet, so mußte sich beim Schmelzen des Glases viel sogenannte Galle (schwefelsaures Natron und Kochsalz) absondern, und es war zur vollständigen Läuterung notwendig, die Masse einem zweimaligen Schmelzprozesse zu unterwerfen, was Plinius auch besonders erwähnt.

In den ursprünglichen Heimstätten der Glasmacherkunst, in den Gegenden, wo die beiden Erdteile Asien und Afrika sich berühren, wurde dieselbe fort und fort gepflegt. Aus dem 10. Jahrhundert haben sich noch einige Glasgefäße erhalten, andere sind durch Kreuzfahrer mit in das Abendland gebracht worden, oder als Geschenke der Fürsten hierher gekommen. Eigentümlich sind an diesen die schöne Farbe der Masse und die häufig in Emaillefarben ausgeführten Dekorationen. Das Grüne Gewölbe in Dresden besitzt einige solcher Gläser, andere finden sich im Schatze des Stephansdomes zu Wien, im Britischen Museum zu London, zu Paris u. s. w.

193. Die sogenannte Portlandvase.
Blaues Glas mit weißen Reliefs, etwa 200 in Ägypten hergestellt, jetzt im Britischen Museum zu London.

Im weiteren geschichtlichen Verlauf sehen wir, daß an Stelle Roms später Byzanz die Führerrolle übernimmt. In Byzanz blüht die Kunst unter unverkennbar orientalischem Einfluß zu einer ungeahnten Höhe auf und hält sich ungefähr ein halbes Jahrtausend. Mit dem erbleichenden Glanze des byzantinischen Reiches verliert aber auch hier die Glasindustrie ihre frühere Bedeutung und geht nun an die aufblühende Flüchtlingskolonie Venedig, wohin sich die auswandernden Meister wandten, über. Gewisse Glasfabrikate jedoch, so namentlich Spiegel aus Deutschland und Flandern, wurden selbst zu einer Zeit noch nach Venedig als Handelsware gebracht, als dort die Glasindustrie selbst schon eine hohe Bedeutung erlangt hatte. Es haben also diese Länder nicht erst über Venedig ihre Kunst bekommen, sondern darin schon zeitig eine selbständige Entwickelung gefunden. In der weltmächtigen Lagunenstadt gelangte aber die Glasmacherkunst zu einer Stellung und einem Einfluß, die sie anderswo nicht gefunden hat. Die venezianischen Produkte waren so gesucht, daß nach und nach eine Unmenge von Fabriken entstanden, so daß man sich bereits im Jahre 1291 veranlaßt sah, die Glashütten wegen allzu großer Feuersgefahr und Belästigung durch den Rauch sämtlich nach der Insel Murano zu verlegen, die bereits seit langem ein Hauptsitz der Glasindustrie war. In den Fabriken von Murano wurden schon im 9. Jahrhundert Mosaiken gemacht; die Periode des glänzendsten Aufschwunges datiert jedoch seit der Eroberung von Konstantinopel (1204) durch Enrico Dandolo, der alle Mittel und Elemente üppigen Lebens von Byzanz nach der Residenz der Dogen verpflanzte. Erzgießer, Maler, Baumeister und allerlei Handwerker wanderten dahin und bildeten sich in der glänzende Stadt aus, die allen schönen Künsten reichlohnende Thätigkeit verschaffte. Die Glasbereitung war nun unter den gewerblichen Künsten diejenige, welche am eigenartigsten herausgewachsen war, deren Erzeugnisse infolgedessen auch als kostbare Handelsware überallhin verbreitet wurden und auf die Geschmacksrichtung anderer Länder ihren Einfluß ausübten. Die Geschichte dieser Industrie in Venedig bietet so allgemeines Interesse Erweckendes, daß wir uns hier etwas eingehender damit befassen dürfen.

In Venedig wurde die Glasindustrie so hoch geschätzt, daß der Senat alle diejenigen, die sich dieser Kunst widmeten, zu Bürgern der Republik machte und dem Adel erlaubte, deren Töchter zu heiraten und den Nachkommen dieselben Rechte einräumte, wie den Vätern, während die Ehe mit der Tochter eines anderen Geschäftsmannes den Verlust des Adels nach sich zog. Es war natürlich, daß bei einer solchen Bevorzugung der Zuzug der Glasmacher ein sehr großer war. Die Phioleri de Murano erhielten weitgehende Privilegien, und ihre Bestätigungsurkunden sind noch im dortigen Museum aufbewahrt, ebenso wie die Verfassung, die sich die Zunft selbst gegeben. Die Angehörigen derselben teilten sich in vier Klassen. Die Glasbläser, die Anfertiger von Spiegel- und Fensterglas, die Perlenmacher und die Schmelzbläser, welch letztere aus den bunten Glaspasten, Stäben, Emaillen die mannigfachsten Kunsterzeugnisse an der Lampe hervorbrachten. Jede dieser Klassen hatte ihre besonderen Regeln. Die ganze Genossenschaft wurde überwacht durch den Comparto, eine aus den Fabrikbesitzern (Patroni) zusammengesetzte Kommission von fünf Mitgliedern, welche einem Mitgliede des Rates der Zehn untergeordnet war und alljährlich am Feste des heiligen Nikolaus — des Schutzheiligen der Glasmacher — durch sämtliche Meister neu gewählt wurde. Der Obmann des Comparto führte den Titel Gastaldo; er ernannte als Unterbeamte zwei Soprastanti (Inspektoren), welche das Recht hatten, zu jeder Stunde in jede Fabrik einzutreten, um über die gewissenhafte Befolgung der Vorschriften zu wachen. Die Angelegenheiten der Genossenschaften wurden in Generalversammlungen, deren der Gastaldo jährlich zwei berief und an denen sämtliche Patrone und Meister teilnehmen mußten, verhandelt. Der Comparto entschied nach den vorgelegten Probearbeiten, ob ein Arbeiter würdig sei, Meister zu werden oder nicht, wie er auch die Aufnahme neuer Meister gänzlich sistieren konnte, wenn die Zahl im Vergleich mit der Arbeit hinreichend groß erschien. Ein Fremder durfte in Murano die Glasmacherei nicht ausüben; die Patroni mußten vielmehr eingeborene Muraneser oder Venezianer sein, und zwar standen die letzteren erst in zweiter Reihe, denn sie wurden nur aufgenommen, wenn sich nicht genug Muraneser um Aufnahme in die Genossenschaft beworben hatten. Diese sorgte auch für ihre Angehörigen und besaß eine öffentliche Unterstützungskasse, zu welcher jeder Patron eine nach dem Umfange seiner Fabrik bemessene Steuer und jeder Meister einen zweitägigen Lohn beisteuern mußte. Unverschuldet ins Unglück Geratene erhielten Unterstützungen, wenn sie zehn Jahre der Genossenschaft angehörten, und zwar der Patron jährlich 70, ein Meister 40 Dukaten u. s. w. Ebenso wurden aus allgemeiner Beisteuer Schulen unterhalten.

Die Insel hatte ihre eigene Rechtspflege, auf ihrem Gebiete durfte sich kein Sbirre der Republik, auch nicht deren Haupt, der Missier grande, finden lassen. Der Muraneser ließ sich nur von den eigenen Beamten verhaften und der höchsten Behörde ausliefern. Die Glasmacher fühlten sich edel genug und den venezianischen Patriziern gleich, die höchsten Ämter standen ihnen offen und sie durften als ganz besondere Auszeichnung die Casa di coltelli, eine Scheide mit zwei Schwertern, tragen. Auch besaß die Insel ihr goldenes Buch, in das seit 1602 die Namen sämtlicher Eingeborenen sowie ihrer Nachkommen eingetragen wurden. Sie ließ in der Münze von Venedig eigene Gold- und Silbermünzen, die sogenannten Oselle, prägen — kurz, die muranesische Glasmacherei war das edelste Gewerbe. Die Geheimhaltung ihres Verfahrens wurde auf das strengste überwacht und jede Verletzung mit den härtesten Strafen geahndet. Flüchtlinge, welche die Geheimnisse verraten hatten, wurden zur Rückkehr aufgefordert, ihre Angehörigen als Geiseln eingekerkert, und wenn auch das nicht half, griff die Republik zu den äußersten Mitteln, indem sie ihnen Agenten nachschickte, die den Auftrag hatten, sie zu ermorden. Trotzdem sind aber auch in anderen Ländern die Methoden der venezianischen Glasindustrie bekannt geworden, und namentlich hat sich im Fichtelgebirge die Fabrikation von Schmelz und Perlen, wahrscheinlich durch Venezianer, welche die Gegend häufig nach Erzlagern durchsuchten, eingebürgert.

Die Kunst, gefärbte Gläser, künstliche Edelsteine und Emaillen zu machen, scheint ziemlich zeitig schon in Murano und Venedig bekannt und in Übung gewesen zu sein. Es wird berichtet, daß die Angaben des Marco Polo für die Glasmacher Briani und Dominico Miotti die Veranlassung gewesen seien, künstliche Granaten, Achate u. dgl. zu machen. Diese Erzeugnisse hatten sie in Bassora zu sehr hohen Preisen verkauft, und darauf habe Miotti die Herstellung derselben als Margaritae — was dort sowohl Perlen als Edelsteine bedeutet — im großen betrieben. Der Name „Perlen" würde in dieser seiner eigentümlichen Anwendung demnach einen sehr frühzeitigen Ursprung haben. Wenn aber derartige Imitationen damals schon hergestellt wurden, so ist es mehr als wahrscheinlich, daß die Kunst, Glasflüsse zu färben, im 11. und 12. Jahrhundert bereits eine hohe Vollkommenheit erreicht hatte. Martino da Canale, ein venezianischer Chronist, berichtet, daß man im Jahre 1268 zu Ehren der Thronbesteigung des Lorenzo Tiepolo ein Siegesdenkmal aus Glas von Murano errichtet habe. Gläserne Karaffen werden schon 1279 erwähnt, und 10 Jahre später wurde für den Leuchtturm am Molo von

Ancona eine Laterne bestellt, zu welchem Zwecke eine besondere Gesandtschaft nach Venedig abgesandt wurde. Ebenso wurden sehr frühzeitig schon Glastafeln zu Fensterscheiben hergestellt, wie ein Reskript vom Jahre 1308 beweist, welches gestattet, für das Kloster von Assisi Fensterscheiben bis zum Werte von 100 Lire zu fertigen. Die kirchliche Baukunst, welche Glasfenster mit besonderer Vorliebe anwandte, übte eine begünstigende Wirkung auf die Glasindustrie aus, und namentlich ist es Giovanno von Murano, der im zweiten Jahrzehnt des 14. Jahrhunderts wegen seiner herrlich gefärbten Glasflüsse zu Kirchenfenstern berühmt war. Nicht minder berühmt waren die beiden Beroviero, Angelo und Martino, welche aus besonderer Gunst von der Republik die Erlaubnis erhielten, den Einladungen der Herren von Ferrara, Mailand und Florenz zu folgen und selbst nach Konstantinopel zu gehen, um sich mit den Kunsterzeugnissen dieser Länder bekannt zu machen. Die Brüder Luna, welche im 17. Jahrhundert dasselbe Vorrecht genossen und durch die besondere Freundschaft Cosimos II. von Toscana ausgezeichnet wurden, Bertilini, Briati und schließlich im 18. Jahrhundert die Familie Miotti, welcher wir die Erfindung der künstlichen Aventurine verdanken, sind ebenfalls rühmlichst bekannt. Im Jahre 1308 sind zuerst in Murano Glasspiegel gefertigt worden; wenig später erfand man für die Spiegelfabrikation ganz besonders geeignetes Glas. Doch ist das Spiegelglas keine eigentlich venezianische Erfindung. Wohl angeleitet durch die Herstellung bunter Perlen und die Anschauung antiker Millefiorigläser gelang noch vor dem Ende des 15. Jahrhunderts die Nacherfindung des Millefioriglases und wenig später die des Fadenglases, worin die Venezianer dann ihre antiken Vorbilder übertrafen.

194. Venezianische Kanne aus Fadenglas (Filigran), 16. Jahrh.
Jetzt im Hamburger Museum für Kunst und Gewerbe.

Im 16. und 17. Jahrhundert befindet sich die venezianische Glasmacherkunst in höchster Blüte. Die Zeit der Renaissance, welche allen Künsten einen frischen Aufschwung gab, brachte auch die Glasmacherkunst zur vollsten Entfaltung. Durch zahlreiche Entdeckungen war man völlig Herr des Materials geworden, und der Kunstsinn der damaligen gebildeten Welt suchte die Werke der muranesischen Werkstätten als kostbarsten Schmuck der Wohnungen und Galerien. Salviati schreibt: „Die erstaunlichen Werke der Künstler von Murano führten selbst die Barbaren in Versuchung. Sie kamen mit ihrem Goldstaub, mit Elefantenzähnen, mit Gewürzen und Tierfellen, um den venezianischen Sand zu erhandeln, welchen Fleiß und Genie in kostbare Geräte umgewandelt hatten. Die Zeitgenossen dieser Epoche sind es, begabt mit einer hervorragenden Intelligenz und mit ausdauernder Geduld, welchen man die Prachtstücke, die heute noch der Schmuck der Sammlungen sind, die glänzenden Dekorationen der berühmtesten Monumente des Mittelalters zuzuschreiben hat: die Nachahmungen der Perlen, des Marmors und der Edelsteine, wie Chalcedon und Aventurin, die gefärbten Gläser und die bunten Scheiben für die Glasgemälde der Kirchenfenster, die Emaille für die Mosaiken, die künstlichen geblasenen Geräte für den häuslichen Gebrauch, die Spiegelgläser, Leuchter und Kandelaber, geziert

mit gläſernen Blumen und Blattwerk u. ſ. w.“ Fürſten beſuchten die Ateliers, und König Heinrich III. von Frankreich war gelegentlich eines Beſuches ſo erfreut, daß er ſämtlichen Meiſtern den Adelsbrief verlieh. Das war die Zeit, in der die Republik Venedig ein Jahreseinkommen von 8 Millionen Dukaten von Murano bezog.

Muß ſich der Reiſende, der heute die Dogenſtadt beſucht und nach der Inſel Murano geht, nicht wehmütigen Betrachtungen hingeben beim Anblick dieſer einſt ſo blühenden Bevölkerung, die nun in einem Zuſtande des Herabgeſunkenſeins dahin lebt? Ehemals zählte Murano 30000 Einwohner und mehr als 40 große Fabriken in allen Branchen der Glasmalerei neben vielen großen, dem öffentlichen Intereſſe der Bewohner dienenden Gebäuden und Muſeen; jetzt dagegen hat die Inſel kaum 5000 Einwohner. Wie bei dem Fall Roms und Byzanz' ſank auch mit dem Schwinden der Macht der Republik die Glasinduſtrie von ihrer ſtolzen Höhe herab. Inzwiſchen waren auch in den anderen Ländern Anſtrengungen gemacht worden, das Glas ſelbſt herzuſtellen und ſich von Venedig unabhängig zu machen. Man hatte ſich bemüht, die Geheimniſſe des Verfahrens kennen zu lernen, und namentlich nach Böhmen, Steiermark und Kärnten venezianiſche Glasmacher einzuwandern veranlaßt. Außer in Flandern und Deutſchland hatte auch Frankreich in der Spiegelfabrikation erhebliche Fortſchritte gemacht; Murano ging dadurch mehr und mehr zurück. In der erſten Hälfte unſeres Jahrhunderts war die Glasfabrikation dort aufs tiefſte geſunken. Ein Zweig ſeiner früheren Kunſtthätigkeit erhielt ſich noch friſch, die Perlenfabrikation, welche auch heute noch ihre bunten Erzeugniſſe in Millionen von Pfunden alljährlich über die ganze Erde verbreitet. Alles andere war in Vergeſſenheit geraten, und als im Jahre 1859 die ſchon lange ſchadhaft gewordenen Moſaiken der Markuskirche ausgebeſſert werden ſollten, ſuchte man zunächſt vergeblich in den Glasfabriken nach Emaillen, durch die man ausgefallene Stellen ergänzen könnte. Da kam Dr. Salviati auf den Gedanken, die alte Kunſt wieder zu beleben. Obgleich Advokat, war er doch hinreichend mit chemiſchen und archäologiſchen Erfahrungen ausgeſtattet und mit einer lebhaften Begeiſterung erfüllt, um dem vorgeſteckten Ziele nachzukommen. Er zog Lorenzo Radi und andere tüchtige Glasarbeiter heran und ſammelte aus alten Schriften und Überlieferungen die Behelfe, um wieder das eine oder andere Verfahren zur Übung zu bringen; zunächſt ſtellte er wieder Emaille in allen Farbenſtufen dar, wie ſie für die großen Moſaiken gebraucht wurde, und als ihm dies gelungen war, wandte er ſich der anderen Glasmacherkunſt zu. Durch antiquariſche Forſchung und Vergleichung, durch Errichtung eines beſonderen Muſeums, durch Zeichenſchulen und Ateliers für Modelleure iſt dann ſein Etabliſſement auch in kurzer Zeit dahin gekommen, das Glas faſt in ſeiner alten Schönheit wiederherzuſtellen. Und wenn beim Anblick der ſeltſam verſchnörkelten Geſtalten, welche der Beſucher unter der Hand des Glasbläſers, oft, wie es ſcheint, ganz zufällig entſtehen ſieht, ſein an ganz andere Formen gewöhnter Geſchmack ſich oft nicht ſofort zurecht findet und ihm manches barock erſcheint, ſo darf die Urſache weniger darin geſucht werden, daß die Formen der alten venezianiſchen Glaskünſtler, in deren Geiſt und Stil man fort arbeitet, an ſich unſchön wären, als darin, daß wir im Laufe der Zeit dahin gekommen ſind, gewiſſe und ſehr wertvolle Eigenſchaften des Glaſes ganz zu überſehen und auch ſeine Geſtaltung zu künſtleriſchen Zwecken ängſtlich zu beſchränken.

Salviati ſelbſt ſchreibt darüber: „Dasjenige, was die böhmiſchen, franzöſiſchen, engliſchen, belgiſchen u. ſ. w. Gläſer charakteriſiert, iſt ihre große Durchſichtigkeit und ihr hoher Glanz. Es ſcheint, als ob ihr Zweck allein wäre, den Kryſtall nachzuahmen. Damit hängt es zuſammen, daß die Erzeugniſſe daraus, um die an ſich ſchönen Eigenſchaften zur beſten Geltung zu bringen, geſchliffen wurden und die Abwechſelung der Form, der Nachdruck der Kontur allein durch dieſes mechaniſche Mittel hervorgebracht wird. Es kann auf ſolche Weiſe wohl ein beſtechender Erfolg erzielt werden, aber dieſer Effekt iſt gegen die wahre Natur des Glaſes erreicht worden, und gerade diejenigen Eigenſchaften, welche dem Glaſe von Natur inne wohnen, welche ſein eigentümliches Weſen ausmachen, ſind unausgebildet und unausgenutzt geblieben: das iſt ſeine Leichtigkeit und ſeine Bildſamkeit. Das venezianiſche Glas beſitzt dieſe weſentlichen Eigenſchaften des Glaſes. Seine Leichtigkeit iſt die Folge von Verfahrungsarten, welche von denjenigen ſehr verſchieden ſind, die von anderen Orten ſeit der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts angewandt werden, um dem Glaſe Maſſe, Brechungsvermögen, Durchſichtigkeit und Glanz zu geben — Eigenſchaften, welche das ausſchließliche Vorrecht des Kryſtalls ſind u. ſ. w.“

Die Salviatischen Erzeugnisse waren schon auf der Londoner Ausstellung von 1862 vertreten und erwarben sich gerechte Bewunderung. Sie bildeten ebenso Glanzpunkte der Pariser Ausstellung von 1867 wie der Wiener Ausstellung von 1873. Durch Salviati ist eine Kunstrichtung wieder erweckt worden, die zu den hervorragendsten der Renaissancezeit gehörte. Castellani, der nach Salviatis Austritt die Leitung der seit 1866 einer englischen Gesellschaft gehörigen Fabrik übernahm, erzielte dann noch genauere Arbeit bei Nachahmung alter Muster und führte auch neue Schöpfungen aus, er vervollkommnete die Wiedererzeugung der sogenannten Katakombengläser und ließ römische Mosaikschalen, Achatgläser u. dergl. Gläser, welche die alten Venezianer nicht erzeugten, mit derselben Kunstfertigkeit ausführen, wie sie im Altertum erzeugt wurden. Diese neue Blüte Venedigs trägt aber den Keim des Todes insofern in sich, als sie fast ausschließlich Nippes und Schaustücke herstellt, die mit einem Gebrauchszweck nichts mehr gemein haben.

195. Venezianische Gläser nach alten Mustern, von Salviati.

Von Italien aus wurde im 15. Jahrhundert und in den darauf folgenden Zeiten die deutsche Industrie auf das mächtigste beeinflußt, und die Glasmacherkunst namentlich erhielt eine frische Belebung, die sich besonders in Böhmen bemerklich machte, das damals das gewerbfleißigste und reichste Land des Deutschen Reiches war und zu Italien in vielfachen Handelsbeziehungen stand. Allein es würde ungerecht sein, wollte man die hervorragendsten deutschen Leistungen, welche jene Jahrhunderte aufweisen, allein auf solche Befruchtung zurückführen, vielmehr stehen die nördlichen Länder in vieler Hinsicht ganz selbständig da, mehr Lehrende als Lernende.

Über den Zeitpunkt der Entstehung der Glasfabrikation in Deutschland ist nichts Historisches bekannt; es ist aber wahrscheinlich, daß sie bereits in sehr früher Zeit betrieben worden ist, denn es liegen Beweise vor, daß die Kirche des bayrischen Klosters Tegernsee im 10. Jahrhundert mit gemalten Fenstern versehen worden ist. Die Glasfabrikation in Deutschland unterschied sich insofern von anderen Ländern, als man nicht in großartigen

Gebäuden, ſondern vielmehr in der Tiefe der Wälder, wo Brennmaterial und Aſche zu billigen Preiſen zu haben waren, kleinere Hütten, aber in großer Zahl, anlegte und ſo meiſt nur für die nächſte Umgebung arbeitete. Die Hauptglasinduſtriegebiete im Deutſchen Reiche waren zunächſt Böhmen und Thüringen.

Was beſonders die Glasinduſtrie Böhmens anbelangt, ſo gehört dieſelbe unzweifelhaft zu den älteſten Gewerbebetrieben des Landes. Am früheſten ſcheint die Glasinduſtrie an den Orten Haida-Steinſchönau Fuß gefaßt zu haben, und die erſte Glashütte ſoll von Peter Berka von Duba ſüdweſtlich unter dem Tannenberge in der Nähe des heutigen Städtchens St. Georgenthal angelegt ſein. Im Jahre 1442 wird in Deubitz eine Glashütte erwähnt. Im Jahre 1443 errichtete Paul Schierer eine Hütte in Falkenau bei Steinſchönau, und 1504 entſtand eine ſolche in Kreibitz, welche noch heute beſteht. Über Steinſchönau ſelbſt ſchweigen die Quellen bis zum Ausgange des 17. Jahrhunderts, zu welcher Zeit daſſelbe jedoch bereits den wirklichen Stapelplatz des ganzen damals nach den ſchweren, vernichtenden Schlägen des Dreißigjährigen Krieges wieder entſtehenden Glashandels dieſer Gegend bildete. Aus einer den dortigen Glasarbeitern von dem Fürſten Wenzel Norbert Octavian Kinsky am 26. Juni 1694 erteilten Innungsordnung geht wenigſtens hervor, daß zu jener Zeit das Glasmachergewerbe in Steinſchönau und Umgegend die Erzeugung von Tafelglas, Hohlglas und Glaskurzwaren, alſo jede Gattung Rohglas und auch deſſen Raffinerie umfaßte. Eine anſehnliche Erweiterung erfuhr die Glasinduſtrie der Gegend, als Graf Johann Joſeph Maximilian Kinsky (1722—80) auf ſeiner Herrſchaft Bürgſtein neben anderen techniſchen Etabliſſements die Spiegel- und Rahmenfabrik in Bürgſtein und eine Glasperlenmanufaktur in Schwoika anlegte. Infolge der Entwickelung dieſer Werke entſtanden mehrere neue Ortſchaften, darunter auch das bereits 1736 zur Stadt erhobene Haida, deſſen thätige Kaufleute in den vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts dem böhmiſchen Glaſe den Weg nach Spanien, Portugal und Amerika bahnten, wo dasſelbe gegen Silber al pari in Gewicht abgeſetzt wurde. Gleichzeitig wußte Steinſchönau und Umgegend ſich den Orient als Abſatzgebiet zu erſchließen und führte ſeine Erzeugniſſe mit Hilfe von Zweigniederlaſſungen in Konſtantinopel, Smyrna, Alexandrien, Kairo u. ſ. w. nach der Türkei, Ägypten, Perſien und nach Indien aus. In ähnlicher Weiſe, wie in Venedig, wurde auch in Böhmen zum Schutze der heimiſchen Induſtrie im Jahre 1752 das Auswandern der inländiſchen Glasmacher in die auswärtigen Lande auf das ſchärfſte verboten und die Einfuhr fremden Glaſes unterſagt. In den Thälern des Rieſengebirges beſtanden bereits im 16. Jahrhundert mehrere Glashütten. Die erſte ſoll im Orte Grünwald von Georg Wander, einem geborenen Schweden, im Jahre 1536 zu ſolcher Blüte gefördert ſein, daß letzterer in den Adelſtand erhoben wurde. Je fühlbarer ſpäterhin im flachen Lande die Holzarmut wurde, um ſo zahlreicher entſtanden die Glashütten im Gebirge, ſo zu Reichenbach und Harrachsdorf, die Hütte bei Przichowitz, St. Antonienwald u. a. m.

196. Altdeutſche Gläſer.

In Frankfurt a. M., Augsburg, Fürth u. ſ. w. waren im erſten Viertel des 14. Jahrhunderts ſchon Trinkgläſer üblich, ebenſo in Flandern. In Bezug auf die Form bieten die deutſchen Gläſer nicht die Mannigfaltigkeit der venezianiſchen, dagegen finden ſich ſehr charakteriſtiſche Gefäße, welche ſich unter ihren eigentümlichen Namen erhalten haben und immer wieder hergeſtellt wurden. Man nennt unter dieſen Gläſern: den Willkommen,

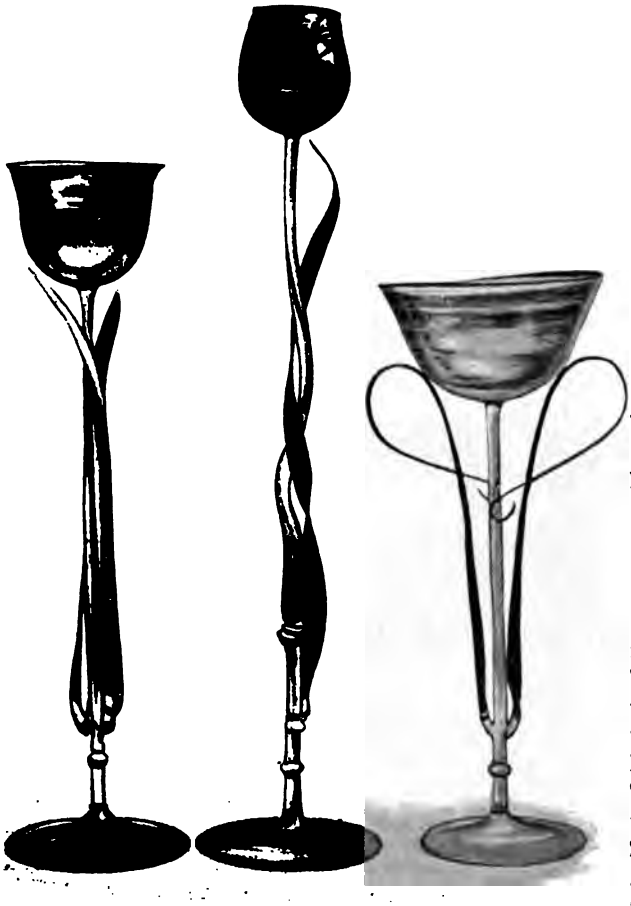
das Paßglas, den Tummler, den Stiefel, den Ärgsten, und vor allen den Römer, jene bekannte klassische Form der Rheinweingläser, Formen, in deren Erfindung sich der echte deutsche Humor und häufig auch ein feines Schönheitsgefühl bekunden. Abb. 196 zeigt uns einige solche Gläser.

In der Zeit der Renaissance gewann eine Dekorationsmanier, welche die Venezianer von den Byzantinern übernommen hatten, große Ausbreitung, das Bemalen der Gläser mit Emaillefarben und das Vergolden. Auch das Schleifen und Gravieren vervollkommnete sich, und es finden sich Gläser mit den feinsten Radierungen. Für emaillierte Gläser wurden grüne oder grünliche Massen verwandt und zu Spiegeln farblose Krystallgläser verarbeitet. Die mit Emaillefarben in Wappenform, Devisen, Spielkarten u. s. w. versehenen Gläser wurden vorzugsweise im bayrischen Fichtelgebirge hergestellt. Außer diesen begegnen wir jedoch auch schon Gläsern von den zierlichsten Formen, zu denen Erzeugnisse von Murano unverkennbar als Modell gedient haben. Nicht minder geschmackvoll sind die Verzierungen, welche entweder durch aufgeschmolzene Glasbündel oder Figuren von verschiedenartigen Farben, durch Filigran oder Millefiori und ähnliche künstliche Verfahren hergestellt sind. Ja, manche sind der Ansicht, daß viele hochgeschätzte venezianische Flügelgläser deutschen Ursprungs sind. Von den deutschen Gläsern bilden die böhmischen eine besondere Klasse, deren Eigentümlichkeit auf den verschiedenen Methoden des Schleifens und Gravierens beruht, welche zu ihrer Formgebung und Verzierung angewandt werden. Die facettierten Oberflächen, welche sich rasch beliebt machten, bedingten starke Wandungen, und dieser Umstand mußte die Form der böhmischen Gläser wesentlich beeinflussen; dieselben wurden im Gegensatz zu den venezianischen und anderen deutschen Gläsern schwerer, und während die letzteren in phantastischen, zierlichen Formen, wie sie das Material von der Glasbläserlampe aus zu bilden gestattet, in Verbindung verschieden gefärbter Massen und teilweise in Bemalung mit Emaillefarben ihre Effekte suchten, verzichteten die böhmischen Glasbläser auf diese Vorteile und strebten mehr dahin, brillante Lichtreflex- und Brechungseffekte hervorzubringen und so mit dem Glase dem natürlichen Krystall nahe zu kommen. Es wurde natürlich darauf gesehen, möglichst weißes Glas darzustellen, worauf man an anderen Orten weniger Gewicht legte.

197. Böhmisches Glas, geschliffen und graviert (Anfang des 18. Jahrh.).

Durch die Krystallschleifer, die Rudolf II. an seinem Hofe beschäftigte, erhielt die Glasschleiferei tüchtige, künstlerische Kräfte vorgebildet, deren Technik sich bis heute erhalten hat.

Eine ſchwere Zeit brach über die böhmiſche Glasinduſtrie herein, als um das Jahr 1810 England und ſpäter Frankreich und Amerika das gepreßte Kryſtallglas in den Handel brachten und den Markt überſchwemmten. Vermochten auch einzelne Induſtrielle durch fortgeſetzte Verbeſſerungen und eine Reihe neuer Erfindungen das böhmiſche Glas auf dem Weltmarkte rechtzeitig zu rehabilitieren, ſo geriet die Glasinduſtrie Böhmens um ſo ſicherer in Verfall, als ihr auch durch die Maßregeln anderer Länder der Abſatz ihrer Produkte faſt unmöglich gemacht wurde. Erſt in neuerer Zeit iſt es gelungen, einen bedeutenderen Teil des verlorenen Terrains wieder zu gewinnen, und Glashütten ſowohl wie Raffinerien wetteifern in dem Beſtreben, des früheren Rufes wieder teilhaftig zu werden.



198. Nachahmung venezianiſcher Gläſer. (Antwerpen, 15. Jahrh.)

Durch ſeinen eigentümlichen Stil wurde das böhmiſche Glas einflußreich auf die Entwickelung der Glasinduſtrie anderer Länder, namentlich Belgiens und Englands. Seit dem 15. Jahrhundert gab es in Belgien Glashütten, in denen mit großem Geſchick vorzugsweiſe Waren gefertigt wurden, die die Erzeugniſſe der Inſel Murano augenſcheinlich zum Vorbild gehabt haben. Die beliebteſten venezianiſchen Ziergefäße wurden imitiert und ebenſo gern gekauft, wie die in Venedig hergeſtellten. Viele Flügelgefäße, Fadengläſer u. ſ. w., die in Sammlungen unter dem Namen von Venedigs Erzeugniſſen gehen, ſind ſicher in Antwerpen hergeſtellt worden. Der Hauptſitz der belgiſchen Glasinduſtrie war Antwerpen; hier fand die Glasinduſtrie einen um ſo ſichereren Boden, als der Sinn für feine Luxuswaren in dieſen reichen Gegenden ſich von jeher ſtark ausgebildet hatte. Häufig finden wir auf Gemälden der damaligen Zeit Gebrauchsgläſer und ſchöne Prunkgefäße abgebildet. Wie ſich die Belgier ſehr bald der Technik Venedigs bemächtigt hatten, ſo gelang es ihnen auch nach kurzer Zeit, ſich die deutſche, ſpeziell die böhmiſche, anzueignen. Deutſche Arbeiter aus dem Schwarzwalde führten 1760 das neue Verfahren ein, durch Blaſen Scheibenglas herzuſtellen, welche Fabrikation noch heute im Gange iſt. Eine beſondere Berühmtheit erlangten von belgiſchen Glaswaren die flandriſchen Spiegel, die ſich ſowohl durch ihre Politur als auch durch ihren Belag auszeichneten. Die Dekoration und das Schleifen der Glasgefäße ſtand in Belgien auf einer hohen Stufe, und wir finden aus dieſer Zeit ſogar ſchon die feinen, nach venezianiſcher Art hergeſtellten Gläſer mit Gravierungen und Ätzungen reich verziert. Ähnlich wie in Belgien ging die Entwickelung der Glasinduſtrie, von Venedig und Deutſchland beeinflußt, auch in anderen Ländern vor ſich.

In Frankreich läßt sich die Entwickelung der Glasindustrie bis zum Beginn der christlichen Zeitrechnung herab verfolgen. Schon früh wurde hier die Wichtigkeit der Glasmacherkunst erkannt und zum Schutze des Gewerbes sehr viel gethan. Zu Anfang des 14. Jahrhunderts erteilte man den Glasarbeitern wie in Murano weitgehende Privilegien, auch war es ähnlich wie in Venedig für keinen Adligen schimpflich, sich mit der Glasmacherkunst zu beschäftigen. Sind doch noch heute viele Glasfabriken im Besitze altadliger Geschlechter (Herzog von Broglie).

Über die Einführung der Glasfabrikation in England fehlen historische Überlieferungen, doch wurde Glas zweifelsohne schon im 15. Jahrhundert in England angefertigt, wie aus einem Kontrakt zwischen der Gräfin Warwick und dem Glaser John Prudde hervorgeht. Letzterer mußte sich nämlich verpflichten, zu seinen Arbeiten für das Grabdenkmal des Grafen Warwick sich nicht des in England gefertigten Glases zu bedienen, sondern nur das zur See eingeführte zu benutzen. Unter der Regierung Jakobs III. wurde in Schottland die erste Glashütte errichtet, und Lord Georg Hay erhielt im 17. Jahrhundert das ausschließliche Privilegium der Glasfabrikation im ganzen Lande auf 31 Jahre zugesichert. Er trat dasselbe jedoch schon etwa zehn Jahre später dem Kleiderhändler Thomas Robinson in London gegen eine bedeutende Summe ab. Von letzterem erwarb das Privilegium der Vizeadmiral Robert Munsell.

199. Urne aus ciseliertem Krystallglas, weißer Grund mit violettem Überfang.
Von Daum Frères & Cie., Nancy.

Noch später als in England erfolgte die Einführung der Glasmacherkunst in Schweden, wo erst um die Mitte des 17. Jahrhunderts die erste Glashütte erbaut wurde. Durch Robert Hewes wurde in Amerika im Jahre 1790 die erste Glasfabrik im Walde von New Hampshire angelegt, doch schlugen seine Versuche, Fensterglas darzustellen, fehl, ebenso wie die der Bostoner Fabrik. Erst im Jahre 1803 gelang es, Fensterglas darzustellen, als ein Deutscher Namens Lint die Leitung der Fabrik übernommen hatte und der Staat für jede Glastafel eine Vergütung bezahlte; die Beschaffenheit der hergestellten Gläser besserte sich von da an sehr rasch und das in Boston hergestellte Tafelglas erlangte schließlich eine ziemliche Berühmtheit.

Obwohl die Völker des Altertums das Glas mit ausgezeichneter Kunstfertigkeit zu behandeln verstanden haben, so fand es doch zu einem der hauptsächlichsten Zwecke, denen es heute dient, zum Verschlusse der Fensteröffnungen, wenig oder gar keine Verwendung. Die Zeit der Einführung der Fenstergläser ist nicht genau zu ermitteln. Wie schon erwähnt, gab es zwar schon Glasfenster zur Zeit vor Christi Geburt, doch waren dieselben klein und gingen z. B. im alten Rom nicht auf die Straße, sondern auf den Hof hinaus. Der erste, der mit Bestimmtheit von Glasfenstern berichtet, ist Lactantius, am Ende des

3. Jahrhunderts. Dasſelbe geſchieht im 5. Jahrhundert durch den heiligen Hieronymus, und 100 Jahre ſpäter beſchreibt Paulus Silentiarius die mit Glasſcheiben verſehenen Fenſter der Hagia Sophia in Konſtantinopel. Die erſten Glasfenſter beſtanden noch nicht aus einzelnen großen Scheiben, ſondern es waren ſehr häufig nur Stein- oder Holztafeln, welche die Maueröffnung abſchloſſen, und deren mehrfache Durchbohrungen mit kleinen Glasſtücken verſehen wurden. Später wurden die Glasſtücke größer, und es trat an Stelle der Stein- oder Holztafeln Gitterwerk und ſchließlich die Verbleiung. Mit der allmählich erlangten Fertigkeit wurden die Glasfenſter billiger und kamen allgemein in Gebrauch; damit aber erwuchs ein Gebrauchsartikel, deſſen ſteigender Bedarf ſich ſehr einflußreich auf die ganze Induſtrie erweiſen mußte. Die Dichter des Mittelalters erwähnen das Glas ſehr häufig in ihren Bildern, ſo daß damals Spiegel, künſtliche Schmuckſachen, Ringe neben anderen Gefäßen reichlich in Gebrauch geweſen zu ſein ſcheinen.

Nach Beda ſind zuerſt in England die Glasfenſter im Jahre 674 durch den Abt Benedict eingeführt worden, der fremde Künſtler dort hinkommen ließ, um Kirche und Kloſter mit Fenſtern zu verzieren. Nach anderen ſoll der Biſchof Wilfried im 8. Jahrhundert die Einführung des Fenſterglaſes veranlaßt haben. In Italien hatten im 8. Jahrhundert die meiſten Kirchen ſchon Fenſter aus gefärbtem Glas, doch zeigten die Privathäuſer Fenſtergläſer erſt mehrere Jahrhunderte ſpäter. In Wien waren im 15. Jahrhundert die meiſten Häuſer ſchon mit Glasfenſtern verſehen, während in England Glasfenſter erſt im 17. Jahrhundert allgemein wurden. Ebenſo faßte in Rußland die Tafelglasinduſtrie erſt im 17. und 18. Jahrhundert feſten Fuß. Die Fabrikation der Glasſpiegel war bis zum 13. Jahrhundert ſehr in Vergeſſenheit geraten, und dieſe Kunſt blühte erſt viel ſpäter wieder auf. Der Urſprung der Erfindung der Glasſpiegel iſt jedenfalls auf Deutſchland oder Frankreich zurückzuführen, denn die früher allgemein als Erfinder und vorzügliche Verfertiger dieſer Gläſer genannten Venezianer haben ſich lange vergeblich bemüht, das Geheimnis dieſer Fabrikation den Deutſchen abzulauſchen. Ilg berichtet von einem deutſchen Meiſter, der in Murano angeſtellt worden ſei, um ſeine Kunſt die Venezianer zu lehren. Der Deutſche aber entfloh, und man konnte in Venedig nach wie vor keine Spiegel herſtellen, ſondern bezog dieſelben wie früher aus Deutſchland und Flandern. Im Jahre 1564 jedoch erhielt Vincenzo Redor vom Senate das Privilegium, Kryſtallſpiegel nach ſeiner Erfindung herzuſtellen. In England wurden 1673 die erſten Spiegel geblaſen, während die Fabrikation von Kryſtallſpiegeln erſt im Jahre 1773 aufkam. Die erſte Gußſpiegelfabrik in Deutſchland war die zu Neuhaus. Dieſe wurde im Jahre 1701 von dem Beſitzer der Herrſchaft Fahrafeld, dem Herrn von Rechtskron, gegründet. Er ließ von St. Gobain franzöſiſche Arbeiter kommen und die Hütte ganz nach franzöſiſchem Muſter einrichten. Nach ſeinem Tode ging die Fabrik in den Beſitz des Staates über, der ſie erſt dem Grafen Mikoſch, dann dem Baron Saffran verlieh, ſie aber 1728 wieder zurückerwarb, wo dieſelbe dann bis zum Jahre 1840 im Staatsbeſitz verblieb. In dieſem Jahre wurde ſie aufgelöſt, da der Holzmangel ſich ſehr bedeutend fühlbar machte und der Unterhalt der Fabrik Unſummen koſtete. Die bedeutendſten Spiegelfabriken in Deutſchland ſind erſt nach dem Jahre 1850 entſtanden und befinden ſich bei Aachen, Fürth, Stollberg und bei Mannheim. Die dort produzierten Gläſer ſtehen in nichts dem franzöſiſchen, in St. Gobain fabrizierten Glaſe nach.

In Frankreich nämlich hatte die Spiegelfabrikation im 17. Jahrhundert durch Lucas de Nehou einen großen Aufſchwung genommen und dieſer vervollkommnete das Verfahren, große Spiegelſcheiben zu gießen. Von dem Miniſter Colbert wurde die Induſtrie ſehr begünſtigt, und noch heute beſtehen viele Glasfabriken in Frankreich, die zur Zeit Colberts entſtanden ſind. Eine ganze Anzahl derſelben datiert das Jahr ihrer Gründung mehrere Jahrhunderte zurück; ſo z. B. beſteht das berühmte Etabliſſement des Vicomte van Leempool zu Quiquengronne (Aisne) ſeit mehr als 600 Jahren; es iſt ſeit 1290 im Betrieb.

Da man an vielen Orten gezwungen war, ſich ſtatt des Holzes der Steinkohle als Brennmaterial zu bedienen, ſo zeigte ſich häufig, daß die feinen umherſchwirrenden Kohlenteilchen, die auch in die Häfen und in die Glasmaſſe kamen, dieſer eine dunkle Färbung erteilten, die der Darſtellung von reinem, weißem Glaſe die größten Schwierig-

keiten in den Weg legte. Zur Vermeidung dieses Übelstandes versuchte man, die Glasmasse in verschlossenen Fässern oder Schmelztiegeln zum Fluß zu bringen. Dieses gelang nun auch nicht immer, sondern es zeigte sich, daß die Glasmasse nicht dünnflüssig genug wurde. Um den nötigen Grad der Dünnflüssigkeit zu erreichen, versuchte man alle möglichen Mittel; man setzte der Masse z. B. Mennige hinzu und erhielt dadurch ein Produkt, welches das frühere Glas in mancher Beziehung übertraf. Auch Blei wurde also damals schon in die Glasmasse eingeführt, und es wurde damit versucht, ein schönes ungefärbtes Kryſtallglas herzustellen, das die Engländer erst in neuerer Zeit fabrizieren lernten. Aus einer Analyse des sogenannten Virgilschen Spiegels geht dieses hervor. Dieser Spiegel, der seit undenklicher Zeit in St. Denis aufbewahrt wurde, enthielt nach Fugeron de Bouderoy, der denselben im Jahre 1787 analysierte, an Blei beinahe die Hälfte seines Gewichtes. Das Bleiglas soll nach Heraclius schon im Mittelalter in Italien im Gebrauch gewesen sein, und das beigefügte „scilicet Judäum" scheint, wie dies auch von anderen geschieht, die Erfindung desselben den Juden zuzuschreiben, die — wie bereits am Anfange erwähnt wurde — zu den geschicktesten Glasmachern gehörten. Der Florentiner Meri erwähnt in seiner „ars vitraria" im Jahre 1612 häufig das Bleiglas, während das erste englische Patent, das das Bleiglas betrifft, erst aus dem Jahre 1635 datiert. Daraus geht wohl hervor, daß Albions Söhne sich mit Unrecht die Erfindung des Bleiglases zuschreiben. Zur rechten Blüte kam jedoch ebenso wie in Frankreich und Belgien die Fabrikation des Bleiglases erst im 18. Jahrhundert.

Ebenso alt wie die Erfindung des Glases ist die Kunst, Glas zu färben, und die Glasmalerei. Ist es doch viel leichter, ein gefärbtes als ein farbloses Glas darzustellen. Es ist sicher, daß man schon vor 3000 Jahren in Ägypten gefärbte Gläser kannte, und die künstlichen Edelsteine in ihren Grabstätten sind nichts weiter als künstlich gefärbtes Glas. Die Malerei im Altertume scheint durch künstlich nebeneinander gelegte Farben von gefärbtem Glase und Zusammenschmelzen derselben ausgeführt worden zu sein. Eine eigentliche Glasmalerei entwickelte sich jedoch erst nach Einführung der Glasfenster mit dem Bestreben, besonders die Kirchenfenster möglichst mannigfaltig und bunt zu gestalten. Die ersten Anfänge der Glasmalerei finden sich im 11. Jahrhundert, doch entwickelte sich dieselbe erst im 12. Jahrhundert mehr und mehr, als der gotische Baustil den Fenstern eine hervorragende Stelle einräumte. Im 17. Jahrhundert geriet die Kunst der Glasmalerei in Verfall, und erst in neuerer Zeit ist sie wieder aufgelebt. Die Glasmalerei scheint in Deutschland entstanden zu sein, wenigstens ist uns von einem deutschen Mönche Theophilius oder Rugerus, welcher im 11. oder 12. Jahrhundert bei Paderborn lebte, die erste Beschreibung über Glasmacherkunst und -Malerei in seinem Werke: „Schedula diversarum artium" überliefert worden.

Die Glasmasse in der ersten Zeit war in der Regel durch Zusammenschmelzen von Sand und Soda als Hauptbestandteile erhalten. Eine wesentliche Umänderung erlitt die Zusammensetzung durch die böhmischen Glashütten. In Venedig und anderen Fabriken verwandte man zur Fabrikation das natürlich vorkommende kohlensaure Natron, die natronhaltige Asche der Strandpflanzen. Dagegen war man in Böhmen genötigt, die Asche der Waldbäume zu verwenden, welche für den nämlichen Stoff gehalten wurde. Damals wußte man noch nicht, daß die Asche von Gewächsen des Inlandes Kali enthält, denn erst 1757 lernte man beide Körper voneinander unterscheiden; man hatte also in Böhmen statt des Natrons Kali in die Masse eingeführt und war so unbewußt auf einen neuen, wertvollen Bestandteil des Glases gekommen. Auf diesen Umstand sowie auf die große Reinheit der in Böhmen vorhandenen Rohmaterialien führt man die besondere Güte des böhmischen Glases zurück, das besser ausfiel und einen hohen Ruf erlangte, der sich bis auf den heutigen Tag erhalten hat. Mit der Ausbreitung der Glasindustrie nahmen jedoch die Wälder auf dem Kontinente und somit auch das Kali rasch ab, so daß der Preis für Kalisalze bald ein sehr hoher wurde. Aus diesem Grunde sah man sich veranlaßt, wieder auf das Natron zurückzugreifen, das man gegenwärtig noch in Form von schwefelsaurem Salz verwendet. Ebenso wird mit Holz heutzutage nur sehr wenig gefeuert, denn die Einführung der Gasfeuerung hat selbst Braunkohle und Torf für

die Heizung in der Glasfabrikation verwendbar gemacht. So wie auf dem Gebiete der Feuerung, so sind auch in der Herstellung von Glassorten in unserm Jahrhundert neue Fortschritte gemacht worden, besonders in der Fabrikation von Spiegel- und Krystallgläsern von riesigen Dimensionen, die teils flach, teils gewölbt hergestellt werden. Verschiedene Fabriken stellen Glas in allen möglichen Farben und Schattierungen her, so z. B. das besonders zu Kirchenbauten verwendete Kathedralglas, welches durch seine eigentümlichen Zeichnungen in der Masse sehr hübsch wirkt. Von Amerika ist ein schillerndes „Opalescentglas" zu uns gekommen, das sich großer Beliebtheit erfreut und mit Erfolg einzuführen gelungen ist. In neuerer Zeit werden von einigen Fabriken gewisse Kunstgläser hergestellt, die als übersponnene und optisch vorgeblasene, verzierte Hohlgläser in den Handel kommen. Einer besonderen Vorliebe erfreut sich auch das marmorierte Glas, das Transparentglas und das Atlasglas, dessen innere Wandung opalweiß, von außen jedoch eine zartgefärbte, mit regelmäßigen, seidenartig glänzenden Wellen durchsetzte Oberfläche zeigt.

Wesen und Eigenschaften des Glases.

Eine der Haupteigenschaften des Glases ist seine Durchsichtigkeit. Außerdem verlangt man von guten Gläsern Klarheit und vollkommene Farblosigkeit. Aus dem dünnflüssigen Zustand bei hohen Temperaturen geht das Glas beim Erkalten in den starren Zustand über und zeichnet sich in solchem durch einen eigentümlichen Glanz, leichte Zerbrechlichkeit und eine gewisse Sprödigkeit aus. Der Einwirkung von Feuchtigkeit widersteht gutes Glas. Ebenso wird gutes Glas von den Mineralsäuren mit Ausnahme der Fluorwasserstoffsäure wenig angegriffen. Letztere Säure jedoch löst oder zerlegt das Glas, indem sich das Fluor mit dem Silicium der Kieselsäure verbindet und als Siliciumfluorid gasförmig entweicht. Alkalische Laugen greifen beim Kochen auch gutes Glas stark an, indem sie sich der Kieselsäure des Glases bemächtigen. Gut gekühlte Gläser sind gegen Temperaturwechsel wenig empfindlich und besitzen einen so hohen Grad von Elastizität, daß man sie zu den feinsten Fäden ausspinnen und Stoffe mit ihnen weben kann. Das Glas ist selbst in den dünnsten Schichten undurchlässig und gestattet weder Gasen noch Flüssigkeiten den Durchgang. Es ist ein sehr schlechter Wärmeleiter und wird, mit Seide gerieben, positiv elektrisch.

Bedingt wird die Durchsichtigkeit des Glases hauptsächlich durch die Beschaffenheit der Rohmaterialien; je reiner diese sind, desto besser und klarer wird das hergestellte Glas werden. Von großer Wichtigkeit ist dabei die vollkommene und gleichartige Schmelzung, die so geleitet werden muß, daß das ganze Gemisch eine gleichmäßige dünnflüssige Masse bildet, ohne rauchige und wolkige Stellen. Ist die Schmelze nicht richtig geleitet, so finden sich häufiger Knoten, Flecken, Blasen, Schlieren, Winden, unklare Stellen 2c., die beim Glase stets vermieden werden müssen. Erhöht wird die Durchsichtigkeit des Glases noch durch die vollständige Farblosigkeit desselben, und man muß danach streben, die Glasmasse so vollkommen farblos herzustellen, daß sie selbst in dickeren Lagen und Schichten einen möglichst geringen Stich aufweist. Eine vollständige Farblosigkeit kann nur erreicht werden, wenn die Rohmaterialien mit besonderer Vorsicht ausgesucht und gemischt werden.

Die Härte des Glases ist verschieden je nach der Zusammensetzung desselben. Unter normalen Umständen nimmt gewöhnlich die Härte des Glases zu, je weniger Alkalien es enthält. Das Kaliglas ist weicher als Natronglas, und das Bleiglas minder fest als die beiden vorigen Gläser. Durch den Zusatz von Kalk und Thonerde wird das Glas härter und schwerer fließend. Von guten Gläsern verlangt man eine nicht viel geringere Härte, als der Bergkrystall aufweist. Je härter ein Glas ist, desto widerstandsfähiger ist dasselbe, da es nicht so leicht geritzt und zerkratzt werden kann, auch wird der Glanz gewöhnlich durch Hinzugabe von möglichst wenig Alkali erhöht.

Wird die geschmolzene Glasmasse sehr langsam abgekühlt oder eine längere Zeit einer hohen Temperatur ausgesetzt, so ändert das Glas seinen Zustand. Es treten alsdann Krystallisationserscheinungen auf, es wird undurchsichtig und trübe. Zu gleicher Zeit ändert sich der Schmelzpunkt des Glases, die Masse wird strengflüssiger und leitet nunmehr die Wärme und Elektrizität besser. Diese Erscheinung, die man häufig auch in der Thonwarenindustrie bei Glasuren beobachten kann, bezeichnet man mit Entglasung.

Réaumur hat am Anfange des 18. Jahrhunderts diese Erscheinung zuerst beobachtet und die entglaste Masse untersucht. Er erhielt stets undurchsichtige Massen, wenn er Glas 12 Stunden lang der Hitze des Porzellanofens aussetzte. Die erhaltenen undurchsichtigen Stücke waren sehr hart und hatten das Aussehen von weißem Porzellan. Deshalb bezeichnete man die so hergestellte Masse auch mit Réaumur-Porzellan und versuchte, Gegenstände aus entglastem Glase unter diesem Namen in die Industrie einzuführen, jedoch vergebens. Heute stellt man aus dem entglasten Glase ähnliche durchscheinende bis undurchsichtige, opalisierende Gläser her, die unter den Namen: Milch-, Bein-, Alabaster- und Reisglas in den Handel kommen. Alle Glassorten können durch die Einwirkung des Fluor zur Entglasung gebracht werden, und zwar in längerer oder kürzerer Zeit, je nach der Zusammensetzung der Masse. Nach Untersuchungen von Pelouze ist Bleiglas am schwersten, Kaliglas etwas leichter und Natronglas am ersten zur Entglasung zu bringen. Die Technik, eine künstliche Entglasung herbeizuführen, besteht darin, der erkaltenden Schmelze einen Krystallisationserreger zuzusetzen; Pelouze benutzte als Erreger gepulverte Glasmasse oder Sand. Man kann, wenn die Entglasung noch nicht weit vorgeschritten ist, das Auftreten von sternförmigen Krystallisationen oft mit dem bloßen Auge beobachten. Bei fortgeschrittener Entglasung nimmt das Glas in manchen Fällen das Aussehen eines schönen, weißen Marmors an, während bei vollkommenster Entglasung sich eine emailleartige Masse bildet. Die Ursachen der mit dem Namen Entglasung bezeichneten Krystallisationserscheinungen der geschmolzenen Glasmasse sind noch nicht vollständig erforscht. Wahrscheinlich sind sie, wie schon Pelouze behauptete, nicht auf chemische Veränderungen, sondern auf physikalische Vorgänge zurückzuführen. Die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung von entglastem und nicht entglastem Glas sind sehr gering, Gröger fand die Massen wie folgt zusammengesetzt:

	Entglaste Anteile	Gute Masse		Entglaste Anteile	Gute Masse
Kieselsäure . . .	63,79	64,39	Kalkerde . . .	13,38	12,81
Thonerde	7,73	7,42	Bittererde . .	0,61	0,73
Eisenoxydul . . .	1,39	1,39	Natron . . .	9,76	9,78
Manganoxydul . .	2,49	2,47	Kali	1,52	1,45

Trotzdem unterscheiden sich in physikalischer Hinsicht die beiden Massen nicht unerheblich. So zeigten die entglasten Anteile eine weit größere Härte als die Grundmasse, welche durch Salzsäure nur wenig angegriffen wurde, während die entglasten Anteile durch Salzsäure zerlegt wurden. Hieraus schließt Gröger, daß die entglasten Anteile aus einem Calciummonosilikat bestehen, das sich in Säure löst. Auch er führt also die Entglasung auf ein Entmischen zurück. Nach Zscheuschner unterliegt besonders Fenster- und Spiegelglas leicht der Entglasung, und diese Gläser müssen deshalb besonders rasch verarbeitet werden. Trotzdem finden sich häufig auf dem Boden der Häfen schon entglaste Anteile, die nicht mehr verarbeitet werden können. Besonders kann bei sehr leichtflüssigen Massen diese Erscheinung beobachtet werden. Ganz vermeiden wird sich ein Entglasen der Glasschmelze nicht lassen, doch läßt sich durch möglichst rasches Verarbeiten die Krystallisation beschränken.

Jedes Glas zeigt, wenn es nicht einer besonderen Operation unterworfen ist, die Eigentümlichkeit, sehr empfindlich gegen Temperaturwechsel und sehr zerbrechlich zu sein. Diese Eigenschaften des Glases sind Folgen der bei der Verarbeitung des Glases angewandten raschen Abkühlung. Hierbei erleiden die Teile eine ungleiche Zusammenziehung, da die Oberfläche schon erstarrt ist, wenn das Glas im Inneren noch weich ist. Durch diese ungleichmäßige Abkühlung entstehen Spannungen zwischen den äußeren und inneren Schichten, welche die Ursache des Zerspringens sind, wenn solche Gefäße einem Temperaturwechsel unterworfen sind oder einen Stoß erleiden. Fast alle Glassorten — mit Ausnahme des ordinären Tafelglases — werden daher, um sie widerstandsfähiger zu machen, sorgfältigst einer langsamen Abkühlung in besonders dazu hergerichteten Öfen unterworfen. Wie wichtig eine langsame Abkühlung besonders bei dickwandigen Gefäßen ist, erkennt man z. B. leicht an den Bologneser Fläschchen und den Glasthränen. Mit ersteren bezeichnet man die dickwandigen, wenig aufgeblasenen Kugeln,

die sich die Schmelzer in den Hütten herstellen, wenn sie prüfen wollen, wie weit die Läuterung des Glases vor sich gegangen ist. Diese dickwandigen Fläschchen sind sehr rasch durch Umschwenken in der Luft gekühlt und sind so fest, daß sie beim Draufschlagen mit einem Hammer nicht zerspringen. Macht man jedoch mittels Diamant oder Feuerstein einen kleinen Ritz, so zerfallen dieselben zu einem feinen Pulver. Die Glasthränen sind entstanden durch Eintropfen der glühenden Glasmasse in kaltes Wasser, wodurch eine ungleiche Abkühlung der äußeren und inneren Teilchen in erhöhtem Maße herbeigeführt und die Spannung vergrößert wird. Wird nun die feine Spitze abgebrochen, so entsteht eine schwache Detonation, und die Glasthräne zerfällt vollständig in ein weißes Pulver. Ähnlich verhalten sich dickwandige und rasch gekühlte Flaschen, die beim Anritzen oder Hineinstreuen von Sand vollständig zerfallen. Trotzdem die schnell gekühlten Gläser gegen Temperaturwechsel sehr empfindlich sind, zeigen sie doch eine größere Festigkeit als die langsam gekühlten. Schott hat durch Versuche nachgewiesen und durch Zahlen belegt, daß die am schnellsten gekühlten Gläser den größten Widerstand gegen Druck leisten, und sehr rasch gekühlte Gläser zeigten dabei eine höhere Bruchfestigkeit als Gußeisen. Elastisches Glas, Hartglas oder Vulkanglas werden durch eine besondere Kühlung hergestellt und haben die oben erwähnten Eigenschaften.

Die Abkühlung scheint auf das Wärmeleitungsvermögen des Glases keinen Einfluß zu üben, da die chemische Zusammensetzung doch dieselbe geblieben ist und nach Schott und Paalhorn nur diese von Einfluß auf das Wärmeleitungsvermögen sein soll. Bei seinen Untersuchungen fand Paalhorn, daß die Gläser mit hohem Kalkgehalt bessere Wärmeleiter waren, als solche mit niederem Gehalt an Kalk. Nächstdem scheint die Kieselerde von Bedeutung zu sein, etwas weniger die Thonerde. Der Gehalt an Natron erhöht ebenfalls die Leitungsfähigkeit der Gläser, während Kali und Arsensäure den geringsten Anteil an der Wärmeleitung haben. Gleich gute Wärmeleiter sind Phosphorsäure, Borsäure, Zinkoxyd und Baryt.

Von größerem Einfluß ist die Kühlung des Glases auf das optische Verhalten. Mitteilungen aus dem glastechnischen Laboratorium von Schott und Genossen besagen darüber folgendes: Der Brechungsexponent ein und desselben Glases ist verschieden je nach der Schnelligkeit des Verlaufes der Kühlung; er ist um so niedriger, je schneller der Kühlungsprozeß verläuft, und der Unterschied kann mehrere Einheiten der dritten Dezimale betragen. Es kommt nun für die Herstellung von optischen Gläsern darauf an, das Glas möglichst ohne Spannung zu erhalten. Um dieses zu erreichen, ist es notwendig, daß diese Gläser einer ganz besonderen Kühlung ausgesetzt werden. Diese neue Art der Kühlung wird mit „Feinkühlung" bezeichnet, und in einem besonders dazu erbauten, geschlossenen Ofen vorgenommen.

Außer der Fähigkeit der Gläser, den Lichtstrahl zu brechen, zeigen viele Arten die Eigenschaft, das durchgehende Licht bis zu einem gewissen Grade zu verschlucken. Storer hat den Lichtverlust beim Durchgang durch Gläser von verschiedener Beschaffenheit festgestellt und ist dabei zu folgenden Resultaten gekommen: deutsches Flintglas hat 4,^{27}, dickes englisches Spiegelglas 6,^{15}, Krystallglas 8,^{61}, double englisches Fensterglas 9,^{39}, double deutsches Fensterglas 13, englisches Kronglas 13,^{08}, orangegefärbtes Glasemaille 51,^{24}, deutsches mattes Glas 62,^{34}, mattes Glas von Berkshire 65,^{75}, einfach deutsches mattes Glas 62,^{74}, grünes Fensterglas 81,^{97}, purpurnes Fensterglas 85,^{11}, rötliches Fensterglas 89,^{62}, transparentes Porzellan 97,^{68} % Lichtverlust. Auf gewisse Glassorten wirkt Licht noch in anderer Weise. Mit Mangan entfärbtes Glas nimmt in Sonnenlicht nach einiger Zeit eine rötlich violette Färbung an, während es im Dunkeln farblos bleibt. Glas, das trotz des Manganzusatzes grünlich oder bläulich gefärbt erscheint wird beim auffallenden Sonnenlichte vollständig farblos.

Die heutigen Gläser, die aus einem Alkali- und einem Erdalkali- oder Bleisilikat bestehen, werden durch kaltes Wasser nicht angegriffen. Leider, wenn auch nur vereinzelt, kommt es noch vor, daß, um Zeit und Feuerung zu sparen, ein sehr hoher Alkaligehalt gewählt wird, dann ist jedoch das Glas nicht mehr widerstandsfähig und man kann die Wirkung des kalten Wassers auf das betreffende Glas beobachten. Diese

äußert sich dadurch, daß die Oberfläche des Glases blind wird und sich irisierende Schüppchen bilden, welche sich durch schwaches Reiben leicht ablösen. Es ist also eine Zersetzung der Glasmasse vor sich gegangen. Besonders häufig ist diese Zersetzung bei Flint- und Krongläsern beobachtet worden, die zu optischen Zwecken benutzt werden. Diese haben gewöhnlich einen sehr hohen Gehalt an Alkali und sind infolgedessen nicht wetterbeständig, d. h. sie widerstehen nicht den Einflüssen der feuchten Luft und der Wirkung der Kohlensäure. In neuerer Zeit sucht man, die Glasmasse so zusammenzusetzen, daß die feuchte Atmosphäre dem Glase nicht schadet, während die meisten alten Gläser, besonders auch die älteren Spiegel, diesen Vorzug entbehren.

Bei der Zersetzung des Glases verliert dieses mit der Zeit seinen Alkaligehalt und verwandelt sich in ein wasserhaltiges Silikat. Geuther fand bei der Analyse eines antiken Gefäßes, welches im Inneren gut erhalten, äußerlich aber zerstört war, für die innere und äußere Schicht folgende Zusammensetzung:

	Außen-Schicht	Innere Schicht		Außen-Schicht	Innere Schicht
Kieselsäure . . .	48,8	59,2	Manganoxydul . .	Spur	Spur
Kali	—	3	Thonerde	3,4	5,6
Natron	—	21,7	Eisenoxydul . . .	11,3	2,5
Kalkerde	11,3	7,0	Wasser	19,3	—
Bittererde . . .	6,8	1			

Der hohe Gehalt an Kalkerde, Bittererde und Eisenoxydul läßt sich nur so erklären, daß diese Stoffe aus dem umgebenden Erdreiche aufgenommen worden sind.

Nicht wetterbeständige Gläser, die bei gewöhnlicher Temperatur erst nach längerer Zeit erblinden, zeigen diese Erscheinung beim Erwärmen augenblicklich, wenn sie längere Zeit in feuchter Atmosphäre aufbewahrt wurden. Nach den Untersuchungen von Weber besitzen jedoch nur fehlerhaft zusammengesetzte Gläser diesen Mangel. Gute Gläser von der Zusammensetzung: 360 Teile Kieselsäure, 56 Kalkerde und 62 Natron oder 94 Kali halten sich gut.

Der Einwirkung von heißem Wasser dagegen widerstehen nicht bloß fehlerhafte Gläser nicht, sondern auch die guten werden von demselben, wenn auch sehr allmählich, angegriffen. Es sind also selbst gute Gläser, wie sie in chemischen Laboratorien gebraucht werden, bei anhaltendem Kochen mit Wasser angreifbar. Je nach der Zusammensetzung des Glases und der Versuchsdauer können bis 35 % der Glasmasse in Wasser gelöst werden, wenn man vorher das Glas pulverisiert. Bei hoher Temperatur und starkem Druck wird das Glas vollständig durch Wasser zersetzt. Läßt man z. B. Wasserdämpfe bei 400° C längere Zeit auf Glas einwirken, so verwandelt sich das Glas wie bei der Entglasung in kristallinische Massen, die aus Quarz und kieselsaurem Kalk bestehen, während das Alkali fortgewaschen wird.

In fein gepulvertem Zustande absorbieren alle Gläser aus der Luft Kohlensäure und brausen mit Säure auf; sie reagieren schwach alkalisch, d. h. sie bläuen rotes Lackmuspapier und geben, mit Gipslösung gekocht, schwefelsaures Natron und kieselsauren Kalk, der sich abscheidet, während das schwefelsaure Natron gelöst bleibt. Je nach der Zusammensetzung des Glases wird dasselbe von verdünnten oder konzentrierten Säuren in größerem oder geringerem Maße angegriffen. Enthalten die Gläser viel Flußmittel, d. h. gehören dieselben ihrer Zusammensetzung nach zu den fehlerhaften, so werden diese von Säuren stark angegriffen und schließlich durchfressen. Gute Gläser widerstehen jedoch den Säuren mit Ausnahme der Flußsäure recht gut. Bei hoher Temperatur dagegen werden auch gute Gläser von Phosphorsäure und Borsäure gelöst. Minderwertige Gläser, z. B. die grünen Flaschen, werden von Säuren stark angegriffen. An Weinflaschen beobachtet man zuweilen, daß dieselben durch das „saure weinsaure Kalium" des Weines angegriffen werden, und daß sich die Kieselsäure und der weinsaure Kalk ablagert. Infolge der Auflösung von Thonerde und Eisenoxyd nimmt oft der Wein einen scharfen Geschmack an und wird dick.

Die Alkalien wirken energisch auf das Glas ein, und selbst gute Gläser werden beim Kochen mit alkalischen Flüssigkeiten angegriffen. Selbstverständlich wird von ihnen

auch das gepulverte Glas leichter angegriffen. In der Rotglühhitze gehen nicht nur die ätzenden, sondern auch die kohlensauren Alkalien mit dem Glase Verbindungen ein, die sich in Wasser leicht lösen. Viele Gläser werden schon in der Kälte mit der Zeit von ätzenden und kohlensauren Alkalien stark angegriffen und schließlich zerstört. Bleihaltiges Glas wird durch chemische Agentien noch leichter angegriffen, als das Alkalikalkglas. Schwefelwasserstoff, Schwefelammonium und chromsaures Kali zerstören das Bleiglas sehr bald, wobei Schwefelblei oder chromsaures Bleioxyd entsteht.

Je nach der Zusammensetzung des Glases ist auch das spezifische Gewicht desselben etwas verschieden; einen wesentlichen Einfluß üben jedoch nur Bleioxyd und Baryt aus. Nach Bestimmungen von Muspratt wurde das spezifische Gewicht gefunden: für Spiegelglas von Ravenhead 2,439, Kronglas 2,520, grünes Hohlglas 2,684, gewöhnliches, grünes Flaschenglas 2,715, weißes Flintglas 3,000, Krystallglas von Leik 3,189. Nach Dumas: böhmisches Glas 2,396, Kronglas 2,487, Spiegelglas von St. Gobain 2,488, Spiegelglas von Cherbourg 2,506, Fensterglas 2,642, Flaschenglas 2,739, Krystallglas 2,9 bis 3,255, Flintglas 3,3 bis 3,6. Aus dem spezifischen Gewicht kann man im allgemeinen nicht auf die chemische Zusammensetzung schließen, wohl aber läßt sich annehmen, daß man es mit einem Bleiglase zu thun hat, wenn das spezifische Gewicht höher ist als 2,8.

Chemische Zusammensetzung des Glases.

Das Glas besteht im wesentlichen aus Kieselsäure in Verbindung mit verschiedenartigen Basen. Neben den Alkalien, Kali oder Natron enthält Glas Kalkerde oder Bleioxyd. Daneben treten auch Thonerde, sowie die Oxyde von Eisen und Mangan ins Spiel, namentlich bei dem gewöhnlichen grünen Flaschenglas. Eine bestimmte chemische Formel für die Zusammensetzung des Glases läßt sich nicht aufstellen, da sich die Kieselsäure nach vielen verschiedenen Verhältnissen mit den betreffenden Basen verbindet und die kieselsauren Salze, ohne eigentliche chemische Verbindungen einzugehen, im geschmolzenen Zustande die Fähigkeit besitzen, sowohl Kieselsäure als Basen aufzulösen. Über die chemische Konstitution der Gläser ist wenig bekannt, da wir bis jetzt noch keine Mittel haben, die verschiedenen kieselsauren Verbindungen für sich voneinander zu trennen. Mit Sicherheit erwiesen ist jedoch, daß das Glas aus einer Doppelverbindung von Alkalisilikaten mit Silikaten der Erden besteht. In diesen Silikaten sind dann noch verschiedene andere Substanzen gelöst. Als die lösende Grundsubstanz kann man dabei den Glasfluß mit den Formeln typisch darstellen: $RO\,SiO_2$ bis $RO\,3\,SiO_2$, wobei RO die Flußmittel Kali, Natron, Kalk, Bleioxyd ꝛc. bedeutet, während unter SiO_2 die Kieselsäure zu verstehen ist. Alle hier mit eingeschlossenen Zwischenstufen der chemischen Zusammensetzung sind in geschmolzenem Zustand als Glas aufzufassen und zeigen das Wesen und die Eigentümlichkeiten des Glases. Der Gehalt an Kieselsäure variiert zwischen 50—80 %, der Gehalt an Thonerde zwischen den weiten Grenzen von 0,4—10 %, der Gehalt an Kalk zwischen 5—21 %, wobei daneben bis 5 % Magnesia vorkommen. Der Gehalt an Alkali schwankt zwischen 6—24 %. Als Beispiele für die Verschiedenheit in der Zusammensetzung der Gläser seien folgende Analysen von bewährten Gläsern angeführt:

	I. Fensterglas	II. Spiegelglas	III. Hohlglas	IV. Fensterglas	V. Deutsches Champag.-Flaschenglas	VI. Franz. Champag.-Flaschenglas	VII.	VIII. Fensterglas
Analytiker: Rud. Weber.					Analytik: Chem. Laborator. f. Thonindustrie, Berlin.			
Kieselsäure	71,03	70,58	75,23	72,68	57,12	61,21	71,54	71,44
Thonerde	2,98	1,01	2,12	1,06	12,87	2,2	0,6	0,64
Eisenoxyd	nicht best.	nicht best.	nicht best.	nicht best.	1,32	2,4	0,3	0,37
Kalkerde	15,62	16,07	8,00	12,76	17,32	20,00	13,54	13,41
Bittererde	0,15	0,8	0,03	0,26	0,99	4,12	0,25	0,35
Kali	—	—	6,38	—	4,48	2,05	3,04	2,99
Natron	10,76	11,77	8,84	13,24	5,71	8,22	10,88	11,02
	100,54	100,23	100,6	100,00	99,81	100,20	100,15	100,22

Dagegen wurden Fenstergläser von der Zusammensetzung: Kieselsäure 66,64, Thonerde 2,67, Eisenoxyd und Manganoxyd nicht bestimmt, Kalkerde 7,38, Bittererde 0,11,

Kali 1,05, Natron 22,45, (Weber) und Kieselsäure 71,7, Thonerde 1,45, Eisenoxyd 0,6, Kalkerde 11, Bittererde 0,8, Alkalien 15,40=100,23 (Chem. Laboratorium für Thonindustrie) blind.

Der Gehalt an Kieselsäure ist bei schlechten Gläsern geringer als bei guten, und man kann demnach, wie schon früher angeführt wurde, fehlerhafte Gläser durch Erhöhung des Kieselsäuregehaltes verbessern.

Der Kalk bedingt die Biegsamkeit und Elastizität des Glases, erhöht den Glanz desselben und gibt ihm die wichtigste Eigenschaft, weniger empfänglich gegen Temperaturwechsel zu sein. Außerdem macht der Kalk das Glas wetterbeständiger und weniger hygroskopisch; er verhindert also das Zersetzen des Glases, wenn letzteres der Luft und der Feuchtigkeit ausgesetzt wird. Wird dem Glase jedoch ein zu hoher Kalkzusatz gegeben, so tritt das Gegenteil von dem ein, was man zu erreichen beabsichtigte. Die Wirkung des Kalkes ist dann am günstigsten, wenn seine Menge im richtigen Verhältnis, einerseits zum Alkali und anderseits zur Kieselsäure steht, also etwa 1 Äquivalent d. i. 56 Gewichtsteile Kalk und $1-1^1/_2$ Äquivalent d. i. 62—91 Gewichtsteile Alkali auf 6 Äquivalent d. i. 360 Gewichtsteile Kieselsäure kommen ($6\,SiO_2 : 1\,CaO : 1-1{,}5 < \frac{K_2O}{Na_2O}$).

Thonerde führt man dem Glase nur unter gewissen Umständen zur Fabrikation bestimmter Gläser zu, wie z. B. bei der Herstellung der Milchglassorten und dann selten als Thon, gewöhnlich als Feldspat oder Kryolith. In der Regel befindet sich in dem Glase Thonerde nur als Nebenbestandteil, als Verunreinigung der anderen Materialien; auch aus der Hafenmasse nimmt der Glasfluß Thonerde auf, welche die Gläser schwerer schmelzbar, aber dafür wetterbeständiger macht. Ob die thonerdigen Gläser noch sonstige Eigenschaften besitzen, ist noch nicht endgültig festgestellt.

Ebensowenig wird das Eisenoxyd selten absichtlich den Glassätzen hinzugefügt; dasselbe gelangt vielmehr mit den Schmelzmaterialien in die Glasmasse und ist denselben sehr nachteilig, da es die Eigentümlichkeit besitzt, die Glasmasse intensiv zu färben. Je nach der Oxydationsstufe des Eisens wird dasselbe grünlich und gelb gefärbt, auch machen Gläser je nach dem Gehalt an Eisenoxyd die ganze Farbenskala durch. Das Eisen schadet nur denjenigen Gläsern nicht, bei denen es auf die Färbung nicht ankommt.

Die Magnesia, die in einigen Gläsern gefunden wird, ist denselben ebenfalls nicht mit Absicht hinzugesetzt, sondern als Beimengung des Kalkes in die Glasmasse gekommen. Es werden daher dolomitische Kalksteine nur ungern in der Glasfabrikation verwandt, da ein höherer Prozentgehalt an Bittererde den Fabrikanten durchaus unerwünscht ist; denn die sich bildende kieselsaure Magnesia macht das Glas schwerflüssiger, so daß die Schmelze nur schwer zum Läutern zu bringen ist.

Der Baryt hat die Eigenschaft, den Gläsern einen stärkeren Glanz zu geben und das spezifische Gewicht derselben zu erhöhen. Man verwendet daher für gewisse optische Gläser Baryt. In richtigem Prozentsatz hinzugegeben vermehrt derselbe die Schmelzbarkeit des Glases, so daß Schott-Jena in neuerer Zeit versucht hat, das Bleioxyd in Kryställ- und Halbkryställgläsern durch Baryterde zu ersetzen. Dem Baryt sehr ähnlich verhält sich Strontian; die Strontianerde erteilt dem Glase ebenfalls einen lebhaften Glanz und in gewissen Verhältnissen hinzugesetzt dem Glase eine bernsteingelbe Färbung.

Das in den Gläsern vorkommende Manganoxyd dient in erster Linie, in geringen Mengen hinzugesetzt, als Entfärbungsmittel. In größeren Mengen erteilt es dem Glase je nach der Oxydationsstufe verschiedene Färbungen. Manganoxydul färbt die Glasflüsse, in denen es gelöst ist, schwach rosa, während das Manganoxyd denselben eine violette Färbung erteilt, die so stark werden kann, daß das Glas in dicken Lagen schwarz erscheint. Dabei nehmen Kaligläser eine blauviolette, Natrongläser eine rotviolette Färbung an.

Gewisse Arten besonders leicht schmelzbarer Gläser enthalten Bleioxyd, das dem Glase einen hohen Glanz und ein starkes Lichtbrechungsvermögen verleiht. Daneben zeichnen sich diese Gläser durch ihre Weichheit und fast vollkommene Farblosigkeit aus. Das Bleioxyd wirkt umgekehrt wie Kalk und Bittererde, und das Glas ist um so leichter schmelzbar, je größer der Gehalt an dieser Base ist. Eine Verbindung von Bleioxyd und

Kieselsäure, dargestellt durch die Formel: $PbO : 1{,}5$ bis $2\,SiO_2$, schmilzt schon bei schwacher Rotglut, also bei etwa 800° C., dem Segerkegel 015 entsprechend. Anstatt des Bleioxyds ist mehrfach versucht worden, das Zinkoxyd in das Glas einzuführen. Die bisherigen Resultate haben jedoch bewiesen, daß die Zinkgläser den Vergleich mit Bleigläsern nicht auszuhalten vermochten.

Weber kommt bei seinen zahlreichen Glasuntersuchungen zu dem Resultat, daß das Trisilikat mit gleichen Atomen Kalk und Alkali brauchbare Gläser liefert, die allen Anforderungen genügen. Bei höherem Kieselsäuregehalt kann jedoch unbeschadet der Qualität des Glases auch der Gehalt an Alkali gesteigert werden, und anderseits kann der Kieselsäuregehalt geringer werden, wenn zugleich der Gehalt an Kalkerde gesteigert wird, so daß letztere den Alkaligehalt überwiegt.

Es könnte nach dem Gesagten leicht den Anschein haben, als ob es stets ohne Schwierigkeiten möglich wäre, den Gläsern eine richtige und sich gleichbleibende Zusammensetzung zu geben. Beispiele aus der Praxis belehren uns jedoch eines Besseren und zeigen, daß die Fabrikanten bei der gleichen Verwendung der Rohmaterialien und unter den gleichen Arbeitsbedingungen oft mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen haben.

Einteilung der Gläser.

Die verschiedenen Gläser kann man auf mancherlei Art in bestimmte Klassen bringen und zwar nach ihrer chemischen Zusammensetzung, nach ihrer Bearbeitungsfähigkeit bei verschiedenen Temperaturen oder nach dem fertigen Produkt.

Nach ihrer Zusammensetzung kann man die Gläser einteilen in: 1) Kali-Bleioxydsilikate (Flintglas, Kristall, Straß); 2) Natron-Kalksilikate oder Kali-, Natron-, Kalksilikate (Fensterglas, englisches Kron- und Spiegelglas); 3) Kali-Kalksilikate (deutsches und französisches Kronglas, böhmisches Glas); 4) Natron-, Kalk-, Thonerde-, Eisensilikate (gewöhnliches Flaschenglas).

Benrath teilt das Glas nach seiner Bearbeitungsfähigkeit in: 1) Glas, das rasch erkaltet und einer formgebenden Bearbeitungsfähigkeit überhaupt nicht unterliegt; 2) Glas, dessen mechanische Bearbeitung erst nach völligem Erstarren beginnt (Optisches Glas, Künstliche Steine, Flüsse); 3) Glas, das in halbflüssigem Zustande geformt wird (Flaschenglas, weißes und halbweißes Hohlglas, getrübtes und farbiges Glas, Bleikristall, Röhren-, Perlen-, Stab-, Tafelglas) und 4) Glas, dessen Formung in flüssigem Zustande erfolgt (gewalztes und gepreßtes Glas).

Nach dem fertigen Produkt teilt Knapp die Gläser in: 1) Hohlglas: Flaschenglas, halbweißes Hohlglas, Weißhohlglas, böhmisches Kristallglas, Bleikristall, Farbenglas; 2) Tafelglas: Fensterglas weiß und farbig, geblasene Spiegel, gegossene Spiegel; 3) Mit lichtbrechenden Eigenschaften, Bleigläser: Optisches Glas, Straß, Emaille-, Schmalte- und Wasserglas.

Mit Rücksicht auf die Qualität pflegt man das Glas einzuteilen in: 1) Kristallglas, Kali- oder Bleikristall, 2) Spiegelglas, 3) Weißglas (oder weißes und halbweißes), 4) Grünglas, 5) optisches Glas, 6) Straß, 7) Emaille, 8) farbige Gläser.

Rücksichtlich der Formgebung und Vollendung kann es nach Stein eingeteilt werden in: Hohlglas, flaches oder Tafelglas, massives Glas, optisches Glas, Glasfäden, Glasstäbe, Glasröhren und Kunstgläser. Zum Hohlglas zählt man Trinkgläser, Flaschen, Arzneigläser, chemische Apparate und Wirtschaftsgeräte aus weißem und halbweißem Glase. Da es in verschiedener Güte hergestellt wird, kann man beim Hohlglas folgende Unterabteilungen machen: Hohlglas aus Kristallglas, auch Schleifglas genannt, da diese Gläser gewöhnlich geschliffen und poliert werden; Hohlglas aus weißem und halbweißem Glase, aus grünem Glase. In die Abteilung der Tafelgläser gehören die Scheibengläser, das Kronglas und das Spiegelglas. Zu dem massiven Glas sind alle diejenigen Gläser zu zählen, die nur geringe Öffnungen oder keine haben. Es sind dieses Gegenstände gewöhnlicher Art, wie Leuchter, Messerbänkchen, Prismen für Kronleuchter u. s. w. Man benutzt zu ihrer Fabrikation in der Regel Kristallglas oder farbiges Glas. Zu den Kunstgläsern rechnet man nach Stein alle Gegenstände, die zu ihrer Herstellung eine

gewisse Kunstthätigkeit erfordern. Hierher gehören: Inkrustationen, Eisglas, Spitzen-, Band- und Fadenglas, Retikuliertes Glas, Millefioriglas (Mosaikglas und Glasperlen).

Wie man in der Keramik von bleihaltigen und bleifreien Glasuren spricht und diese so in zwei große Gruppen scheidet, so kann man mit demselben Rechte auch die Gläser in zwei große Abteilungen bringen: bleifreie und bleihaltige Gläser. Bleifreie Gläser sind: 1) Hohlglas, wozu gezählt werden: a) ordinäres Hohlglas (Alkalikalksilikate mit verschiedenem Gehalt an Thonerde und Eisen): Flaschengläser und gewöhnliche Hohlglaswaren. b) Halbweißes Hohlglas (mit verschiedenem Gehalt an Thonerde und geringerem Eisengehalt): Mittelfeine Gläser, Arzneiflaschen. c) Weißes Hohlglas (möglichst wenig Eisengehalt): Deutsches und französisches Kronglas, böhmisches Glas und d) Farbenglas; dann 2) Fensterglas: weiß und farbig, 3) Spiegelglas. Bleigläser sind Flintglas (Blei-Kalisilikate), optische Gläser, Kryſtallglas (hoher Bleigehalt); hierher gehören auch die Borsäuregläser. Bleihaltiges Farbenglas, Straß (beträchtlicher Gehalt an färbenden Metalloxyden) hierzu sind auch die künstlichen Edelsteine zu rechnen. Emaille-Flüsse und Mosaiken. Wasserglas (lösliches Kali und Natronsilikat).

Rohmaterialien für die Glasfabrikation und ihre Zubereitung.

Hauptbestandteile der Glasmasse.

Als Rohmaterialien für die Glasfabrikation sind alle diejenigen Stoffe anzusehen, welche die im Glase enthaltenen Hauptbestandteile in möglichster Reinheit liefern. Man kann dabei die wesentlichen Bestandteile und die zufälligen Beimengungen, die nicht mit Absicht der Glasmasse zugesetzt werden, unterscheiden. Die wesentlichen Hauptbestandteile zur Fabrikation der Gläser sind: Kali, Natron, Kalk, zuweilen Baryt und Zinkoxyd, Bleioxyd und Kieselsäure. Die als Verunreinigungen der anderen Bestandteile in dem Glase sich vorfindenden Substanzen sind: Thonerde, Eisenoxyd und Eisenoxydul. Zu den absichtlich zugesetzten Bestandteilen gehören dann noch für farbige Gläser die färbenden Oxyde und die Entfärbungsmittel für farblose Gläser.

Kieselsäure. Der Hauptbestandteil aller Gläser ist die Kieselsäure, eine Verbindung aus 1 Molekül Silicium mit 2 Molekülen Sauerstoff (chemische Formel SiO_2). Diese macht einen sehr wesentlichen Bestandteil unserer festen Erdrinde aus und findet sich teils frei, teils an Basen gebunden. Sie ist im kryſtallisierten wie im amorphen Zustande bekannt.

In reiner Form ist die amorphe Kieselsäure ein künstliches Produkt, das durch Glühen der verschiedenen, wasserhaltigen Kieselsäuren erhalten wird. Sie stellt ein weißes, sehr leichtes, sich rauh anfühlendes Pulver dar, dessen Härte durch Glühen erhöht wird. In chemischer Beziehung unterscheidet sich die amorphe Kieselsäure von der kryſtallisierten durch ihre Auflöslichkeit in den Lösungen der kaustischen Alkalien; doch nimmt diese um so mehr ab, je höher die Temperatur war, der sie beim Glühen ausgesetzt wurde. Der in der Natur vorkommende Opal ist ebenfalls amorphe Kieselsäure, jedoch mit 3—12 % Wasser verbunden. Die Opale werden in der Glasfabrikation nicht benutzt, dagegen verwertet man hin und wieder die dem Opale zuzurechnenden Mineralien, wie Kieselsinter, Kieselguhr, Kieseltuff (Infusorienerde); diese finden sich in manchen Gegenden in ungeheuren Mengen und sind fast reine, wasserhaltige, amorphe Kieselsäure mit kleinen Mengen von Thonerde, Eisenoxyd, Kalk und Alkalien. In weit größerem Maße wird Flint oder Feuerstein in der Glasfabrikation gebraucht. Dieses Mineral findet sich in der Kreide in Schichten, in denen Knolle an Knolle lagert. Die Farbe des Feuersteins ist grau bis schwarz; der Bruch ist muschelig, schimmernd, mit stark durchscheinenden Kanten. Das mit Feuerstein hergestellte Bleikryſtallglas führt auch den Namen Flintglas. — Wie der Quarz, so wird auch der Feuerstein einer Aufbereitung unterworfen, um ihn in ein feineres Pulver überzuführen.

Die kryſtallinischen Massen der Kieselsäure werden unter dem Namen Quarz zusammengefaßt.

Durch Zertrümmerung der verschiedenen Quarzformen entstehen lose Kryſtallkörner, welche wir mit Sand und Kies bezeichnen. Ersterer kann nach seiner Abstammung sehr

verſchieden gefärbt ſein und wird je nach ſeiner Farbe zu den verſchiedenſten Erzeugniſſen in der Glasfabrikation gebraucht. Beſonders geſucht iſt naturgemäß der ſehr reine weiße Sand, der ſich an manchen Stellen in vorzüglicher Güte vorfindet. Die hauptſächlichſten Fundſtätten eines ſehr weißen, reinen Sandes liegen in Deutſchland bei Niſelſtein in der Rheinprovinz, zu Hohenbocka in der Lauſitz, bei Lemgo in Weſtfalen u. ſ. w. Der beſte und jetzt am meiſten gebrauchte Sand iſt der von Hohenbocka. Wie derſelbe geliefert wird, trübt er in Waſſer geworfen dasſelbe nur ſehr wenig und beſteht faſt ausſchließlich aus reiner Kieſelſäure (99,62—99,77 %). Was ihn aber für die Glasfabrikation ſo beſonders wertvoll macht, iſt der geringe Gehalt an Eiſenoxyd (0,04—0,06 %). Im Devilleſchen Gebläſeofen erhitzt, bleibt er rein weiß und ſchmilzt bei einer Temperatur, die etwas über Segerkegel 35 liegt, zu einer weißen Emaille. In Frankreich befinden ſich die Lager von weißem Sande zu Maintenon, Fontainebleau, Nemours, Champagne, woher auch die Belgier ihren feinen Sandbedarf beziehen. In England finden ſich nur wenige Lager von rein weißem Sande, und zwar auf der Inſel Wight und an der Alumbay. Für beſſere und Luxusgegenſtände beziehen die Engländer den Sand aus Frankreich, Amerika und Auſtralien.

Zur Herſtellung ganz farbloſer Gläſer wird der Sand gewöhnlich einer Waſchung und Schlämmung unterworfen, wodurch derſelbe von anhaftenden Thonteilen und Pflanzenreſten befreit wird. Die einfachſte Art, den Sand zu reinigen, iſt die, denſelben in große Holzbottiche zu werfen und mit Waſſer durcheinander rühren zu laſſen. Darauf läßt man den Sand abſitzen, zieht das überſtehende Waſſer ab und wiederholt dieſe Arbeit ſo oft, bis das überſtehende Waſſer vollſtändig klar iſt. Der gereinigte Sand wird getrocknet und dann zweckmäßig im geſchloſſenen Raum aufbewahrt, da im Freien der Wind denſelben allmählich fortführen würde. — Iſt der Sand nach dem Waſchen nicht vollſtändig weiß, ſondern gelb gefärbt, ſo iſt derſelbe nur zur Fabrikation von grünem und halbweißem Glaſe zu gebrauchen.

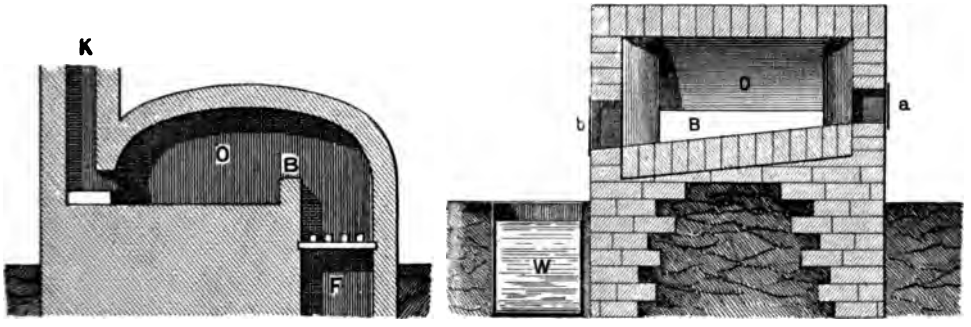
Den groben Sand glüht man auch zuweilen, um die organiſchen Stoffe zu zerſtören, alles Eiſenoxydul in Oxyd überzuführen und weil ſich der in kaltem Waſſer abgeſchreckte Sand leichter fein mahlen läßt.

Eine andere Quelle für die Kieſelſäure ſind die Quarzarten, doch können auch nicht alle zur Fabrikation aller Gläſer angewandt werden. Um die guten von den minderwertigen zu ſcheiden, muß man den Quarz einer Prüfung unterwerfen. Dabei verfährt man ſo, daß man zunächſt die durch das Auge leicht unterſcheidbaren Quarzſtücke ſammelt, zeichnet und glüht. Die nach dem Glühen weiß gebliebenen Proben ſind zur Weißglasfabrikation tauglich, während die grau oder rötlich gewordenen Materialien geringe Glasſorten abgeben. Zur Verarbeitung wird der Quarz in beſonderen Öfen bis zum ſtarken Glühen erhitzt und durch Einwerfen in kaltes Waſſer plötzlich abgekühlt (abgeſchreckt). Durch dieſe Vornahme wird der Quarz zerklüftet und bröcklig, ſo daß ſich die gelockerte Maſſe leichter zerkleinern läßt. Dieſes Abſchrecken muß gegebenen Falles öfters wiederholt werden, worauf dann die Maſſe zur weiteren Zerkleinerung den Stampf- oder Pochwerken oder den Kollermühlen übergeben wird.

Die zum Glühen des Quarzes verwandten Öfen ſind ſo konſtruiert, daß die Maſſe nicht in denſelben verunreinigt wird. Der gebräuchlichſte, der Flammofen, iſt aus feuerfeſtem Material erbaut und hat in der Regel einen Faſſungsraum von 3000—5000 kg Quarz. Er beſteht aus einer Feuerung F, dem zur Aufnahme des Quarzes beſtimmten eigentlichen Ofenraum O und dem Kamin K. Zwiſchen Feuerung und dem Ofenraum liegt die Feuerbrücke B, welche die Flugaſche aufhalten ſoll. Auf der nach der einen Längsſeite geneigten Feuerſohle werden die Quarzſtücke, welche von ſtark eiſenflüſſigen Adern befreit worden ſind, loſe aufgeſchichtet, ſo daß die Flammen die ganze Maſſe gleichmäßig durchziehen können. Nach mehrſtündigem Befeuern iſt der Quarz rotglühend geworden und kann nun abgeſchreckt werden. Zu dieſem Zwecke werden die Thüren a und b geöffnet — nachdem das Feuer gelöſcht iſt — und die glühende Maſſe wird mit eiſernen Krücken in ein Waſſerreſervoir W geſtoßen.

Die abgeſchreckten Stücke werden vor der weiteren Verarbeitung zunächſt einer ſorgfältigen Handſcheidung unterworfen, indem die Quarzſtücke zerklopft und nach ihrer Farbe

sortiert werden. Die minder verunreinigten Quarzstücke werden mittels der Schneide eines Hammers von den anhaftenden Verunreinigungen befreit und den ganz weißen hinzugegeben. Diese so gereinigten Stücke werden dann der Zerkleinerungsmaschine übergeben. Um zunächst die ganz großen Stücke in einen kleineren Zustand überzuführen, übergibt man dieselben am zweckmäßigsten einem Steinbrecher oder einem Kollergange. Das auf dem Steinbrecher vorgebrochene Material wird auf die verschiedenste Weise weiter zerkleinert. Nach allmählicher Beseitigung der alten Stampf- und Pochwerke bedient man sich heute gewöhnlich der Desintegratoren oder Schleudermühlen. Diese von Carr erfundenen Maschinen bestehen im wesentlichen aus mehreren konzentrisch ineinander laufenden, aus Stäben gebildeten Cylindern, welche an der einen Seite auf Scheiben, auf der anderen in Ringen vernietet sind. Die Stabcylinder sind abwechselnd auf der rechten oder linken Scheibe (s. Abb. 203) befestigt, welche mittels Naben mit den mit einer Riemscheibe versehenen Achsen verbunden sind. Der eine Riemen aber ist ein offener, der andere ein gekreuzter, so daß die beiden großen Stabtrommeln in entgegengesetzter Richtung rotieren. Der Antrieb erfolgt gewöhnlich von einer gemeinschaftlichen Vorlegewelle aus, die von der Haupttransmissionswelle bewegt wird. Die Materialien, die gepulvert werden sollen, werden durch einen Trichter an dem Umhüllungskasten ununterbrochen in den Apparat gebracht. Aus der ersten Trommel werden die Anteile



200. Längsschnitt. 201. Querschnitt.

200 u. 201. Flammofen zum Glühen des Quarzes.

durch die entsprechend weiten Zwischenräume der Stäbe infolge der Zentrifugalkraft in die zweite, entgegengesetzt laufende geschleudert; von dieser kommen sie teilweise zerschlagen in die dritte, dann in die vierte, wieder der dritten entgegengesetzt laufende u. s. w., bis sie aus der letzten Trommel in pulverförmigem Zustande an allen Punkten der Peripherie herausgeschleudert werden, um dann von dem aus mehreren Stäben bestehenden Umhüllungskasten aus Blech aufgefangen und durch eine untere Öffnung desselben in den Vorratsraum geführt zu werden.

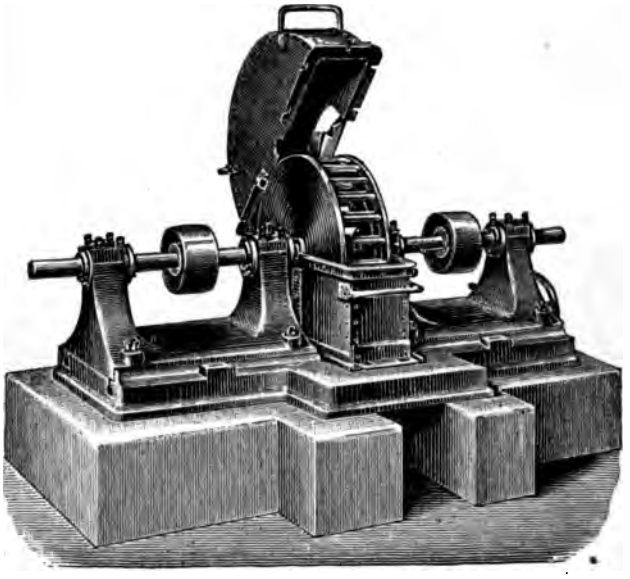
In neuester Zeit sind zum Zerkleinern des Quarzes die zunächst in Amerika konstruierten Mörsermühlen mehr zur Anwendung gekommen. Solche Mörsermühlen bestehen aus einem konischen Topf, dessen unterer Teil sich kugelförmig erweitert. In diesem Mörser befindet sich eine unten ebenfalls kugelförmig erweiterte massive Keule, welche nach oben in einen abgestutzten Kegel übergeht. Die Keule muß genau konzentrisch in dem Mörser stehen und läßt sich, je nachdem man größere oder geringere Zerkleinerung bezweckt, enger oder weiter stellen. Die Keule wird nun mittels Kurbelgetriebe in eine schwingende, nicht drehende Bewegung gesetzt. Eingeworfene Stücke werden desto mehr zertrümmert, je mehr sie nach unten durch den Hals in den eigentlichen Mörser gelangen. Man kann in dieser Mörsermühle das Material beliebig fein oder gröber und selbst mehlartig gepulvert erhalten. Die bekannteste Mühle dieser Art ist die von Motter konstruierte Patent-Mörsermühle.

Die besten Vorrichtungen, die man zum Überführen des Quarzes in den mehlfeinen Zustand hat, sind die Kugelmühlen. Das Mahlgut kann denselben in großen Stücken

aufgegeben werden. Bei der abgebildeten Kugelmühle ist die Trommelwelle auf zwei durch schmiedeeiserne Ankerstangen gegeneinander versteiften, gußeisernen Böcken gelagert, welche mittels Steinschrauben auf dem Fundament zu befestigen sind. Die Bewegung erfolgt mittels Riemenbetriebes.

Kalk. Nach der Kieselsäure kommt als Rohstoff zunächst der Kalk in Betracht. Die Kalksalze sind in allen drei Naturreichen sehr verbreitet. Namentlich sind es der kohlensaure und der schwefelsaure Kalk, die ganze Gebirge bilden. Kalksalze finden sich in der Asche von Pflanzen und in tierischen Substanzen, in den Schalen der Schaltiere, in den Eierschalen, in reichlicher Menge in den Knochen, Knorpeln und anderen Geweben.

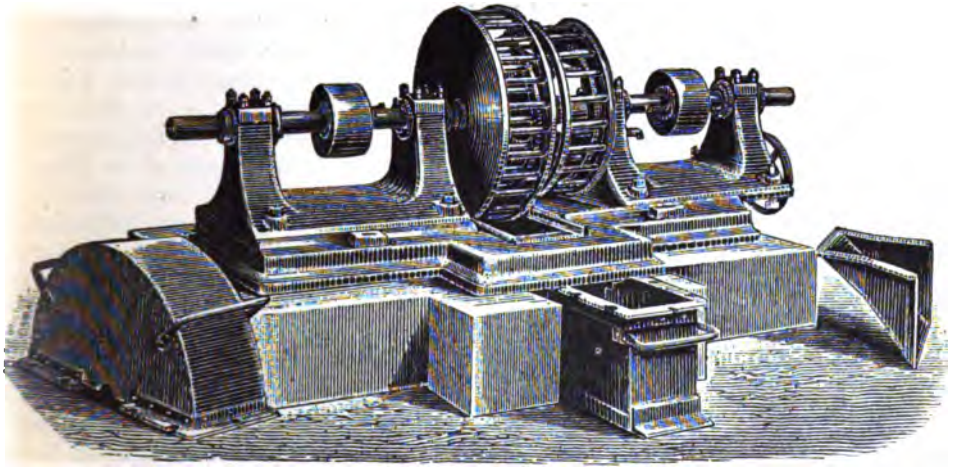
Das wichtigste in der Glasfabrikation gebrauchte Kalksalz ist der kohlensaure Kalk: $CaCO_3$. Er gehört zu den verbreitetsten Körpern der Erdoberfläche, und zwar findet er sich in zahlreichen Modifikationen und in mehr oder weniger reinem Zustande. Chemisch charakterisiert ist der kohlensaure Kalk durch seine fast absolute Unlöslichkeit in reinem, durch seine Löslichkeit in kohlensäurehaltigem Wasser, wobei der kohlensaure Kalk in doppeltkohlensauren Kalk übergeführt wird, ferner dadurch, daß er beim Glühen seine Kohlensäure verliert und in Calciumoxyd, CaO, übergeht, eine Eigenschaft, auf der das Brennen des Kalkes beruht. Von stärkeren Säuren wird er unter Austreibung von Kohlensäure, indem sich das Kalksalz der angewandten Säuren bildet, zersetzt. Die dabei frei werdende Kohlensäure braust stark auf, und man erkennt kohlensaure Kalke infolgedessen leicht. Im Mineralreiche findet sich der kohlensaure Kalk sowohl als Kalkspat wie als Aragonit niemals in wohl ausgebildeten Krystallen. Vollkommen durchsichtige und gewöhnlich farblose Krystalle bildet der in Island, früher auch in St. Andreasberg i. H. gefundene Kalkspat, der zu optischen Zwecken Verwendung findet. Man bezeichnet ihn mit „Krystallisierter Doppelspat". — Überhaupt versteht man unter Kalkspat die Varietäten, während die gleichfalls sehr zahlreichen und höchst wichtigen Formen mit krystallinisch-faseriger, körniger und dichter Struktur als Faserkalk, Marmor, Kalksteine u. s. w. unterschieden werden. Die Tropfsteine, Stalaktiten und Stalagmiten, bilden sich, wenn doppeltkohlensaurer Kalk gelöst in fallendem Wasser durch die Decke von Höhlungen dringt; die Kohlensäure und das Wasser verdunstet, während der kohlensaure Kalk sich niederschlägt und nach und nach die wunderbarsten Formen und Gestalten bildet. Ähnlich entstanden sind Kalksinter und Kalktuff. Kreide und Bergmilch sind weiße, erdige, leicht zerbröcklige, amorphe oder kryptokrystallinische Varietäten des kohlensauren Kalkes. Der Aragonit krystallisiert in Formen, welche dem rhombischen Systeme angehören. Er bildet stengelige, parallel- und radialfaserige Aggregate; letztere sind namentlich als Erbsensteine bekannt. Krusten- und Stalaktiten-ähnliche Gebilde sind der Sprudelstein und die Eisenblüte. Der kohlensaure Kalk ist ein zweigestaltiger (dimorpher) Körper, und die Verhältnisse der Dimorphie wurden an ihm zuerst näher studiert. Beide Formen lassen sich auch künstlich hervorbringen; in der Form des Calcits



202. Schleudermühle (Desintegrator) mit aufgeklapptem Gehäusedeckel.

erhält man den kohlensauren Kalk aus seinen kalten, in der des Aragonits aus seinen heißen Lösungen.

Je nach der Bildungsweise der Kalksteine sind dieselben bald mehr, bald weniger durch andere Stoffe verunreinigt, die den betreffenden Kalkstein weniger tauglich für die Glasfabrikation machen. Die hauptsächlichsten Verunreinigungen sind: Sand, Thon, Eisen, Mangan, Magnesia und bituminöse Stoffe. Der Gehalt an Kieselsäure oder Sand schadet im allgemeinen nicht, doch muß bei der Satzzusammensetzung darauf Rücksicht genommen werden und der Zusatz an kieseligem Kalk vermehrt, der an Kieselsäure aber herabgesetzt werden. Ebenso wenig schadet der Thon, wenn der Gehalt desselben nicht zu hoch ist; ein beträchtlicher Anteil desselben macht jedoch das Glas schwer schmelzend. Auch auf den Thongehalt des Kalkes muß bei der Satzbereitung geachtet und ein erhöhter Kalkzusatz gemacht werden. Enthält der Kalk Eisen als Eisenoxyd, so kommt es darauf an, wie groß die Menge desselben ist. Beträgt dasselbe in ungebranntem Kalk erheblich über 1 %, so ist der betreffende Kalk nicht zu weißem Glase, sondern nur zur Fabrikation von Grün- und Flaschenglas und zur Herstellung von halbweißen Glassorten zu gebrauchen. Der Gehalt an Mangan ist gewöhnlich so gering, daß derselbe unberück-

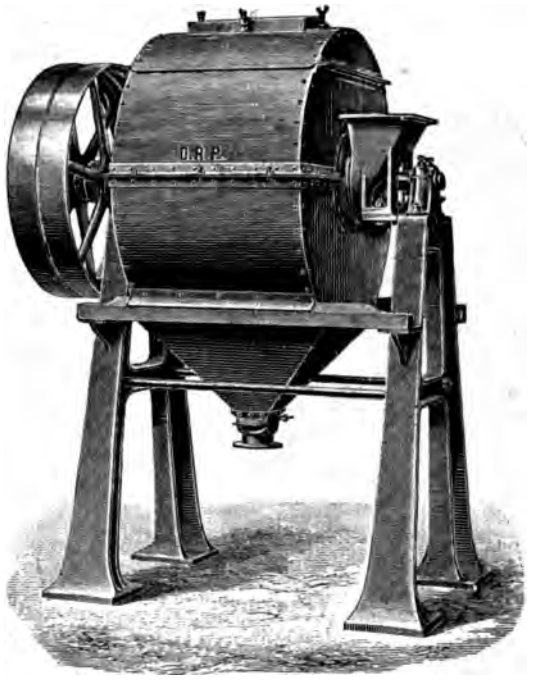


208. Schleudermühle (Desintegrator) in auseinandergerücktem Zustande.

sichtigt bleiben kann. Anders dagegen ist es mit der Magnesia, die sich in nicht unbeträchtlichen Mengen häufiger vorfindet. Da ein Gehalt von Magnesia das Glas schwerer schmelzbar macht, so ist der Kalk stets auf Magnesia zu untersuchen. Die bituminösen Stoffe finden sich hauptsächlich in den Kalktuffen und sind ohne allen Nachteil. Ferner finden sich noch Phosphorsäure und Chlor in geringen Spuren und Alkalien bis zu 3 % in den Kalksteinen. Letztere sind nur vorteilhaft für die Glasmasse, während die beiden ersteren ihrer geringen Menge wegen nicht schaden. In der Regel werden von den Glasfabrikanten nur die reinsten Kalksorten benutzt, und zwar entweder ungebrannt als Mehl oder in gebranntem und abgelöschtem Zustande. Letztere Methode empfiehlt sich nicht, da man genötigt ist, dann stets die Menge des Wassers des Ätzkalkes und den kohlensauren Kalk zu bestimmen, um dem Glase die richtige Zusammensetzung geben zu können. Die wenigsten Fabriken sind jedoch in der Lage, solche Bestimmungen an Ort und Stelle ausführen zu können, sie ziehen daher die Zumischung als kohlensauren Kalk in Form von Kreide oder Marmormehl vor.

Von anderen Kalksalzen finden in der Glasfabrikation nur der phosphorsaure Kalk und der Flußspat (Fluorcalcium) Anwendung. Der neutrale phosphorsaure Kalk findet sich im Mineralreiche als Apatit; derselbe enthält außerdem noch wechselnde Mengen von Fluor- und Chlorcalcium. Der in amorphem, erdigem oder in krystallinischem Zustande vorkommende phosphorsaure Kalk heißt Phosphorit und Osteolit. Fundorte

desſelben ſind Logroſan in Eſtremadura, Limburg und Amberg; der von letzterem Orte ſtammende enthält merkliche Mengen an Jod. Ferner beſteht die durch Verbrennung der Knochen erhaltene Aſche aus $^4/_5$ Tricalciumphosphat und $^1/_5$ Kalciumkarbonat. Dieſe Aſche führt den Namen Knochenerde und wird zur Erzeugung des Milchglaſes benutzt. Das Fluorcalcium findet ſich in der Natur ſehr rein als das unter dem Namen Flußſpat bekannte Mineral. Dieſes bildet entweder wohlausgebildete Kryſtalle: Würfel, Oktaeder und davon abgeleitete Formen, oder dichte, körnige Maſſen, teils farblos durchſichtig und von lebhaftem Glasglanze, teils undurchſichtig oder nur durchſcheinend und von mannigfachen Farben. Außer im Mineralreiche findet ſich der Flußſpat im Tierreiche als Beſtandteil der Knochen und beſonders des Zahnſchmelzes, auch in gewiſſen Mineralwäſſern, wie z. B. im Karlsbader, hat man geringe Mengen davon nachgewieſen. Wie bei den metallurgiſchen Arbeiten gebraucht man den Flußſpat auch in der Glasfabrikation als Flußmittel.



204. Kugelmühle.

Baryt und Strontian. Dieſe beiden Stoffe kommen in der Natur ſowohl als kohlenſaure wie als ſchwefelſaure Verbindungen vor. Der kohlenſaure Baryt, Baryumkarbonat: $BaCO_3$, findet ſich in der Natur als **Witherit**, der wegen ſeiner giftigen Eigenſchaften öfters als Rattengift dient. Hauptfundort iſt England. Beim heftigen Glühen verliert er Kohlenſäure; er löſt ſich nicht im reinen Waſſer, wohl aber in kohlenſäurehaltigem als ſaurer kohlenſaurer Baryt. Der ſchwefelſaure Baryt, Baryumſulfat: $BaSO_4$, findet ſich im Mineralreiche als **Schwerſpat** in gewöhnlich wohlausgebildeten Kryſtallen des rhombiſchen Syſtems. Seine Fundorte liegen hauptſächlich in Deutſchland. In Waſſer und Säuren iſt er unlöslich. Das kohlenſaure Strontian, Strontiumkarbonat: $SrCO_3$, iſt ein Mineral, welches in geraden rhombiſchen Säulen oder kryſtalliniſchen Maſſen von ſtrahliger Struktur vorkommt und **Strontianit** genannt wird. Sein Hauptfundort liegt in Schottland. In Säuren löſt er ſich leicht und mit Brauſen auf.

Das ſchwefelſaure Strontian, Strontiumſulfat: $SrSO_4$, bildet das unter dem Namen **Cöleſtin** bekannte Mineral, welches in beſonders ſchönen Säulen des rhombiſchen Syſtems in Sizilien als Begleiter von gediegenem Schwefel vorkommt.

Die Strontiumſalze werden, da ſie ſeltener ſind, kaum, die Barytſalze von manchen Fabriken, um einen Teil der Alkalien zu erſetzen und das Glas leichter ſchmelzbar zu machen, benutzt. Wendet man die ſchwefelſauren Verbindungen an, ſo iſt naturgemäß der Zuſatz an Kohle zur Glasmaſſe etwas zu erhöhen, um die Geſamtſchwefelſäure frei zu machen.

Blei. Zur Herſtellung von Bleigläſern bedient man ſich faſt ausſchließlich des **Bleioxyds**: PbO und der **Mennige**: Pb_3O_4. Das Bleioxyd ſtellt ein bald zitronen-, bald rötlich-gelbes Pulver dar, welches ſich beim jedesmaligen Erhitzen braunrot färbt, in der Rotglühhitze ſchmilzt, beim Erkalten kryſtalliniſch erſtarrt und ſich in der Weißglühhitze, jedoch nicht ſo leicht wie Blei, verflüchtigt. Im Waſſer iſt es etwas löslich; in

gewissen Säuren, namentlich in Salpetersäure und Essigsäure löst es sich leicht und bildet mit demselben Salze. Reines Bleioxyd erhält man durch gelindes Glühen des kohlensauren und salpetersauren Bleies. Im Großen und für gewöhnliche Zwecke wird es in genügender Reinheit beim Abtreiben des silber- und goldhaltigen Bleies als Nebenprodukt erhalten, oder durch gelindes Schmelzen von Blei an der Luft dargestellt. Ersteres kommt unter dem Namen Bleiglätte, letzteres als Massicot in den Handel. In der Glasfabrikation dient es hauptsächlich zur Herstellung von optischen Gläsern. Aus der Bleiglätte oder aus dem Massicot stellt man durch Glühen in besonders konstruierten Öfen die Mennige her, die als eine Verbindung von Bleioxyd und Bleisuperoxyd anzusehen ist. Sie stellt ein sehr schön ziegelrotes, schweres Pulver dar, das auch unter dem Namen Minium in den Handel gebracht wird. Der hohe Preis der Mennige ist die Ursache gewesen, daß sich die Glasfabrikanten nach einem billigen Ersatz umgesehen haben, und man hat versucht, statt desselben schwefelsaures Blei, das als Abfallprodukt gewonnen wird, einzuführen, doch stößt man dabei auf Schwierigkeiten, da infolge des höheren Kohlenzusatzes oft auch Blei reduziert wurde, welches das Glas schwarz färbte. In Gemeinschaft mit Kali wird die Mennige hauptsächlich zur Kryſtallglasfabrikation verwandt.

Zink. Dasselbe wird als Zinkoxyd benutzt und bildet ein weißes, lockeres, bei jedesmaligem Erhitzen gelbwerdendes Pulver, welches unlöslich in Wasser, löslich in Säuren ist und damit Salze bildet; in starker Weißglühhitze verflüchtigt es sich. Man stellt dasselbe durch Erhitzen des Metalls an der Luft dar. Für technische Zwecke wird es fabrikmäßig dargestellt und kommt dann als Zinkweiß in den Handel. Auch als Zinkblende versuchte man das Zink in die Glasmasse einzuführen, doch stehen die reinen Zinkgläser den Bleigläsern an Güte noch weit nach. Im Vergleich mit Kalkgläsern erscheinen sie dagegen vollständig untadelhaft.

Bor. Bei der Darstellung von optischen Gläsern und Straß, sowie in der Emaillemalerei findet Bor Anwendung und zwar sowohl als Borsäure, wie als Borax. Der Borax bildet farblose, durchsichtige, an der Luft oberflächlich verwitternde, monokline Kryſtalle, die beim Erhitzen ihr Kryſtallwasser verlieren und sich dabei schwammartig unter bedeutender Volumzunahme aufblähen. Höher erhitzt schmelzen sie zu einem klaren Glase, das an der Luft jedoch durch Wasseranziehung wieder trübe wird. In Wasser aufgelöst beobachtet man eine alkalische Reaktion der Lösung.

In einigen Seen Chinas, Tibets und anderer asiatischen Länder ist Borax in Auflösung enthalten, wird durch Verdunsten des Wassers im rohen Zustande gewonnen und kommt unter dem Namen Tinkal in den Handel.

Eine Verbindung von Borax mit borsaurem Kalk bildet ein unter dem Namen: Boronatroncalcit: $Na_2B_4O_7 + 2CaB_4O_7 + 18H_2O$ bekanntes Mineral, welches gleichfalls zur Darstellung von Borax verwendet wird.

Natron. Das Natron wird der Glasmasse in verschiedenen Verbindungen zugeführt, und zwar: als kohlensaures Natron, d. i. Soda, als schwefelsaures Natron, d. i. Glaubersalz, und als Chlornatrium, d. i. Kochsalz.

Das unter dem Namen Soda bekannte neutrale kohlensaure Natron: $Na_2CO_3 + 10H_2O$, Natriumkarbonat, bildet große, farblose, monokline Kryſtalle. An der Luft verwittern die Kryſtalle sehr schnell, indem sie dabei undurchsichtig werden und zu einem weißen Pulver zerfallen. Wie überhaupt, so ist auch hier das Verwittern darin begründet, daß das die Kryſtallgestalt bedingende Kryſtallwasser entweicht und der Kryſtall somit zerfällt. Erwärmt schwitzt das Salz anfänglich in seinem Kryſtallwasser und wird dann zu wasserfreiem Salze, indem alles Wasser ausgetrieben wird. Es entsteht dann die sogenannte calcinierte Soda. In Wasser ist das Salz leicht löslich. Läßt man es aus warmer Lösung auskryſtallisieren, so kryſtalliſiert es mit 7 Molekülen Kryſtallwasser. Bis zur Rotglut erhitzt, schmilzt es zu einer klaren, beim Erkalten kryſtalliniſch erstarrenden Flüssigkeit. Es schmeckt und reagiert alkalisch. Das kohlensaure Natron findet sich an einigen Orten der Erde, so namentlich in Ungarn und Armenien, im Wasser gewisser kleiner Seen, welche beim Verdunsten während der heißen Jahreszeit Salzmassen absetzen, die neben

ſchwefelſaurem Natron und Chlornatrion viel kohlenſaures Natron enthalten. Solche Natronſeen finden ſich in Ägypten, Zentralafrika, Armenien, Perſien, in den Ebenen längs des Kaſpiſchen und Schwarzen Meeres u. ſ. w. In anderen Gegenden wittert es in größeren Mengen aus der Erde und iſt auch aus Mauern auswitternd beobachtet worden.

Das Natron iſt außerdem für alle Meeresſtrand- und Steppengewächſe ein ſo charakteriſtiſcher Beſtandteil, wie das Kali für die eigentlichen Binnenpflanzen. Es iſt an organiſche Säuren gebunden in Form von Salzen vorhanden, die ſich beim Verbrennen in kohlenſaures Natron umwandeln. Die beim Verbrennen dieſer Pflanzen zurückbleibende, graue, ſteinartige Aſche kam früher unter dem Namen Roh-Soda in den Handel. Die beſte Sorte davon war die Soda von Alicante, welche 25—30 % kohlenſaures Natron enthielt, dann kam die Salicor von Narbonne mit ca. 14 %, am ärmſten iſt die Aſche von Seetang. Die aus der Normandie und der Bretagne kam unter dem Namen „Varek", die aus Großbritannien und Schottland unter dem Namen „Kelp" in den Handel. Gegenwärtig gewinnt man den größten Teil der Soda durch ein Verfahren, welches ebenſo ſinnreich wie ökonomiſch iſt und die ſogenannte natürliche Soda entbehrlich macht.

Die weitaus größte Menge des Natrons wird jedoch den Glasmaſſen als ſchwefelſaures Natron (Natronſulfat) hinzugeſetzt. Das neutrale ſchwefelſaure Natron, Natrium sulfuricum: $Na_2SO_4 + 10H_2O$ = Glauberſalz, kommt in den Handel in Form großer, durchſichtiger, klarer, monokliner Kryſtalle, die 55—76 % Kryſtallwaſſer enthalten. An der Luft verwittern die Kryſtalle und zerfallen zu einem weißen Pulver, indem ſie ihr Kryſtallwaſſer verlieren. Beim Erhitzen ſchmelzen ſie ſehr leicht darin und verlieren es bei fortgeſetztem Erhitzen gänzlich; es bleibt waſſerfreies Salz zurück, das in Waſſer leicht löslich iſt. Kryſtalliſiert das Glauberſalz unter gewöhnlichen Bedingungen aus ſeiner Löſung bei einer unter + 20° C. liegenden Temperatur, ſo kryſtalliſiert es mit 10 Molekülen Kryſtallwaſſer. Kryſtalliſiert es aber bei höheren Temperaturen, ſo ſcheidet es ſich waſſerfrei ab. Wird eine bei 33° C. geſättigte Löſung bis zum Sieden erhitzt, ſo ſcheidet ſich ebenfalls waſſerfreies Salz als feines Pulver ab. Das Glauberſalz bildet ſehr gern überſättigte Löſungen, die ſofort erſtarren, wenn man die Oberfläche berührt oder einen eckigen Gegenſtand hineinwirft. Das ſchwefelſaure Natron iſt ein Beſtandteil vieler Mineralwäſſer und Salzſolen, auch finden ſich geringe Mengen im Meerwaſſer, in tieriſchen Flüſſigkeiten, namentlich im Blute. Ganze Gebirgsmaſſen bildend, findet es ſich mit Gips, Kochſalz und Bitterſalz in Spanien, im Ebrothal, bei Madrid. Als Zwiſchenprodukt wird das Glauberſalz bei der Sodafabrikation nach dem Belliniſchen Verfahren gewonnen. — Das Natronſulfat geht jedoch nicht als ſolches in die Glasmaſſe über, ſondern die Schwefelſäure wird durch die Kieſelſäure erſetzt, wobei erſtere ausgetrieben wird. Um dieſen Platzwechſel zu erleichtern, fügt man 4—6 % der angewandten Glauberſalzmenge Kohlenpulver hinzu, wodurch das Sulfat zerſetzt und die Schwefelſäure zu ſchwefliger Säure reduziert wird und als ſolche entweicht.

Das dritte Natronſalz, das billigſte, das man verſucht hat, für die Glasfabrikation zu verwenden, iſt das Chlornatrium: NaCl, auch kurzweg als Salz, Kochſalz, Steinſalz und Seeſalz bezeichnet. Dieſe Verbindung kryſtalliſiert in Würfeln, die ſich zuweilen zu hohlen Pyramiden vereinigen. Es iſt meiſt farblos, durchſcheinend bis durchſichtig, manchmal auch als Steinſalz gelblich, rötlich, bläulich. Es beſitzt den bekannten rein ſalzigen Geſchmack und löſt ſich leicht im Waſſer. Erhitzt verkniſtern die Kryſtalle, d. h. ſie zerſpringen, da ſie im Inneren Waſſer oder, wie das Salz von Wieliczka, Gaſe eingeſchloſſen haben. Salz findet ſich in mächtigen Lagern und im Meerwaſſer und wird durch Bergbau und Salinenbetrieb gewonnen. Die Anwendung des Salzes iſt bekannt. Als Erſatz für Soda hat es bis jetzt in die Glasmaſſe nicht eingeführt werden können, und die bisher angeſtellten Verſuche haben keine günſtigen Reſultate ergeben.

Kali. Das bei der Glasfabrikation gebrauchte Kali wird ebenfalls als kohlenſaures Kalium, ſeltener als ſchwefelſaures Salz in die Glasmaſſe gebracht. Das neutrale kohlenſaure Kali, Kaliumkarbonat: K_2CO_3, ſtellt eine weiße, an der Luft raſch zerfließende,

nur schwer kryſtalliſierende, laugenhaft ſchmeckende und ſtark alkaliſch reagierende Maſſe dar, die von Waſſer ſehr leicht gelöſt wird und in ſtarker Glühhitze ſchmilzt. Aus einer heiß bereiteten konzentrierten Löſung ſcheidet ſich das Kaliumkarbonat beim Erkalten in Kryſtallen aus, welche 20 % Waſſer enthalten und deren Zuſammenſetzung der Formel $K_2CO_3 + 2H_2O$ entſpricht. Ein verunreinigtes kohlenſaures Kali iſt die ſogenannte Pottaſche, die in der Regel aus Holzaſche hergeſtellt wird. Das neutrale ſchwefelſaure Kali, Kaliumſulfat: K_2SO_4, kryſtalliſiert in farbloſen, durchſichtigen, rhombiſchen Pyramiden, beſitzt einen bitterlich ſalzigen Geſchmack und ſchmilzt in der Rotglühhitze ohne Zerſetzung. In kaltem Waſſer iſt es ſchwer löslich, in abſolutem Alkohol unlöslich. Dieſes Salz iſt ein Beſtandteil der Holzaſche und findet ſich im Tierreiche nur im Harn und ſpurenweiſe im Blute. Es bildet ferner einen weſentlichen Beſtandteil des Kainits, eines Abraumſalzes gewiſſer Salzlager. Man erhält es beim Reinigen der Pottaſche als Nebenprodukt, aus dem Kainit oder auch durch Sättigung der Schwefelſäure mit kohlenſaurem Kali. In ſeiner Anwendung für die Glasinduſtrie iſt jedoch das kohlenſaure Kali dem ſchwefelſauren vorzuziehen, und es empfiehlt ſich eine Anwendung des letzteren nicht für feine Glasſorten.

Zuſchläge zur Glasmaſſe.

Als Zuſchläge zur Glasmaſſe werden die verſchiedenſten Mineralien und Geſteinsarten benutzt und hauptſächlich in erſter Reihe diejenigen, die der Gruppe der Feldſpate angehören; ferner Phonolith, Baſalt, Lava, Trachyt-Geſteine, Granit ꝛc. Den Feldſpat unterſcheidet man in mehrere Arten, die alle als Doppelverbindungen anzuſehen ſind. Sie beſtehen aus kieſelſaurer Thonerde und einem Silikat von Kali, Natron oder Kalkerde, bisweilen auch mit Magneſia. In der Glasfabrikation werden jedoch nur Kali- und Natron-Feldſpate gebraucht, die zur Herſtellung von Milchgläſern benutzt werden; manche Fabriken ſetzen auch Feldſpat den anderen Maſſen zu.

Bei jeder Fabrikation gibt man zu dem Gemenge gern Glasbrocken. Die bei der Fabrikation und ſpäteren Verarbeitung vorkommenden Glasabfälle ſammelt man daher, auch wurden früher von gewiſſen Fabriken, ſelbſt in der Weißglasfabrikation, Glasſcherben aufgekauft. Die Glasbrocken dienen dazu, das Gemenge aufzulockern, und bewirken eine frühere Verflüſſigung des Gemenges, da die einmal eingeſchmolzene Glasmaſſe oder Glaſur bedeutend leichter ſchmilzt, als die friſch hergeſtellte Miſchung. Die Temperatur braucht daher in dem Ofen nicht ſo hoch zu ſein, wie ſie ſein müßte, um das trockene Gemenge ohne Glasbrocken zu ſchmelzen. Infolgedeſſen werden die Häfen reſp. Wannen von der Schmelze nicht ſo ſtark angegriffen und halten länger vor, und man ſpart außerdem an Brennmaterial. Die Glasbrocken dürfen nicht zum Schluß in die Häfen u. ſ. w. gebracht werden, ſondern ſie werden zweckmäßig gleich mit dem Gemenge Schaufel um Schaufel eingetragen.

In der Weißhohlglasfabrikation wird ferner noch ein dritter Zuſchlag in neuerer Zeit wieder mit Vorliebe angewandt. Dieſer iſt die Bereitung einer Schmelze, Calcine genannt, die dann der eigentlichen Maſſe zugeſetzt wurde. Schon in früheren Zeiten ſtellten ſich gewiſſe Hütten eine Fritte dar, die aus Sand und Aſche in ſchon ſtark verbrauchten Häfen hergeſtellt wurde. Dieſe Fritte wurde dann in Waſſer abgeſchreckt und als Zuſatz zur Glasmaſſe benutzt. Hierdurch wurde ein ſehr frühes Schmelzen des weichen Glas erzielt, weshalb man dieſer Fritte den Namen Schmelzglas gab. In den Fabriken, von denen dieſes alte Verfahren wieder aufgenommen worden iſt, wird nun dieſes Schmelzglas in beſonderen Öfen, den Boëtius-Öfen, hergeſtellt. Das zur Herſtellung von Schmelzglas benutzte Gemenge beſtand aus 300 Teilen Sand, 115 Teilen Sulfat, 80 Teilen Kalk und 6 Teilen Kohle. Die geſchmolzene Maſſe wurde aus den Abſtichlöchern der Häfen durch eine mit Waſſer gekühlte Abflußrinne in Waſſer geleitet und ſomit abgeſchreckt. Nach den nötigen Zuſchlägen wurden dann die eigentlichen Häfen geſpeiſt und in bedeutend früherer Zeit abgebrannt, ſo daß eine Erſparnis von 20 % erzielt wurde, da bedeutend weniger Brennmaterial erforderlich war.

Entfärbungsmittel.

Da die zur Glasfabrikation benutzten Rohmaterialien in den seltensten Fällen so rein sind, daß auch eine in dicken Lagen liegende Schicht vollständig farblos erscheint, so bemühte man sich schon in den ältesten Zeiten, dem Glassatze oder dem flüssigen Glase Substanzen zuzusetzen, die die Eigenschaften haben, gewisse Färbungen aufzuheben. Der Stoff, der am häufigsten in den Glasflüssen Färbungen hervorruft, ist das Eisen, und zwar färbt dasselbe, wenn es als Oxydul vorhanden ist, die Glasflüsse grün, während das Eisenoxyd der Glasmasse einen gelblichen bis bräunlichen Stich erteilt. Um dem Glase denselben zu nehmen, wurde in erster Linie Braunstein angewandt; später bediente man sich der arsenigen Säure und in letzter Zeit des Salpeters und des Nickeloxyds.

Das bekannteste Entfärbungsmittel ist der **Braunstein**, der von alten Glasmachern die Glasmacherseife genannt wurde. Der Braunstein, Mangansuperoxyd MnO_2, findet sich in der Natur auch als Pyrolusit und bildet rhombische Kryställe von eisenschwarzer Farbe und mehr oder minder vollkommenem Metallglanze, oder kristallinische Massen. Im gewöhnlichen Zustande stellt der Braunstein ein schwarzes Pulver dar, welches daran leicht zu erkennen ist, daß dasselbe, mit Salzsäure übergossen, einen stechenden Geruch nach Chlor entwickelt. Die Wirkung des Braunsteines beruht z. T. darauf, daß dieser sauerstoffreiche Körper letzteren an das grüne Eisenoxydul abgibt und dasselbe in Eisenoxyd verwandelt, welches dem Glase eine schwach gelbe und weniger sichtbare Färbung erteilt, vorausgesetzt, daß der Eisengehalt nicht zu hoch ist. Mangan an und für sich färbt das Glas violett. Es ergänzen sich daher die beiden Farbtöne violett und grün und bilden ein unsichtbares Weiß. Vollständig farblos erhält man das Glas jedoch auch hierdurch nie, sondern dasselbe wird in dickeren Lagen immer einen geringen, kaum sichtbaren Stich behalten.

Ein weit besseres Reinigungs- und Entfärbungsmittel ist die arsenige Säure, der **Arsenik**, welcher sich im Mineralreiche in verschiedenen Verbindungen findet. Im fein gepulverten Zustande stellt sie ein schweres, weißes, geruchloses und fast geschmackloses Pulver dar, das sich beim Erhitzen verflüchtigt, ohne vorher zu schmelzen; sie bildet dann einen farblosen geruchlosen Dampf, der sich bei Gegenwart von Reduktionsmitteln an kühlen Stellen wieder als schwarzer metallischer Spiegel absetzt, woran die arsenige Säure sehr leicht erkannt werden kann. Man benutzt die arsenige Säure erstens als Entfärbungsmittel und zweitens, um die Glasmasse in Wallung zu bringen und so eine raschere Läuterung herbeizuführen. In der Regel wird dieselbe der geschmolzenen Glasmasse hinzugesetzt und zwar so, daß man dieselbe in Papier gewickelt auf die Glasmasse wirft oder in Stücken mittels einer Pfeife u. ä. bis auf den Boden des Hafens niederdrückt. In der heißen Glasmasse verflüchtigt sich der Arsenik, und seine Dämpfe wirken auf dieselbe, indem Schwefelmetall in Sulfat umgewandelt, Kohle verbrannt und Eisenoxydul in Oxyd übergeführt wird. Durch seine Verflüchtigung in der Hitze und durch die dabei entweichenden Gase mischt sich die flüssige Glasmasse besser und kommt stark in Wallung. Der zugesetzte Arsenik bleibt also nicht in der Glasmasse, sondern wird aus der Glasmasse vollständig verflüchtigt. Dieses ist für die Glasmasse sehr günstig, da dieselbe sonst hart und spröde wird.

Gewissen Glassorten setzt man zum Entfärben neben Mangansuperoxyd auch eine Spur **Kobaltoxyd** hinzu. Dieses wirkt nun nicht dem Mangansuperoxyd analog, sondern dient dazu, dem Glase einen schwachen, bläulichen Stich zu geben, wodurch dieses zarter und dem Auge weniger gefärbt erscheint.

In neuester Zeit hat das **Nickeloxyd** als Entfärbungsmittel mehr und mehr Aufnahme gefunden. Dieses ist ein schwarzes unlösliches Pulver, das beim Glühen Sauerstoff abgibt und sich in Oxydul verwandelt. Das Nickeloxyd kommt in verschiedenen Erzen vor und wird durch umständliche Prozesse aus denselben gewonnen. Die Nickelerze sind nie ganz frei von Kobalt, daher enthält auch das käufliche Nickeloxyd nicht unbeträchtliche Mengen von Kobaltoxyd. Dem Kali- und Kryställglase erteilt das Nickeloxyd eine bläuliche, dem Natronglase eine Hyazinthfarbe, während das Kobaltoxyd dem Glase, in größeren Mengen (über 3 %) zugesetzt, eine blaue Färbung erteilt.

Die gebräuchlichsten Färbemittel in der Glasfabrikation.

Durch Zusatz von Metalloxyden können dem Glase die verschiedensten Färbungen erteilt werden. Je nach der Menge der zugesetzten Oxyde können mit ein und derselben Substanz in verschiedenen Oxydationsstufen die mannigfaltigsten Abstufungen in der Farbe erzielt werden. Manche Oxyde färben, selbst in geringer Menge zugesetzt, die Glasmasse so intensiv, daß man es vorzieht, mit denselben nicht die ganzen Gegenstände herzustellen, sondern man überzieht in dem Falle die weiße Glasmasse mit einer dünnen gefärbten Schicht, es entstehen alsdann die sogenannten Überfanggläser.

Am häufigsten kommen die Metalle in ihren verschiedensten Oxydationsstufen zur Anwendung. Das Chrom sowohl als Oxyd als auch als saures und neutrales chromsaures Kali, das Antimon als Oxyd und als Schwefelmetall, das Kobalt als Oxyd, das Kupfer als Oxyd und als Oxydul, das Silber als Oxyd, als Chlorsilber und als Metall, das Mangan als Superoxyd und als Oxydul, das Eisen als Oxyd und als Oxydul, das Uran als Oxyd, das Gold als solches und als Goldpurpur, das Zinn als Oxyd und phosphorsaurer Kalk, Kohle resp. Graphit (indirekt).

In neuerer Zeit sind außerdem einige andere Verfahren zum Färben von Glasflüssen patentiert oder zum Patent angemeldet worden. So im Jahre 1893 ein Verfahren zur Herstellung von orangegelbem Glase. Es beruht darauf, daß, anstatt wie früher dieses Färben durch Selen und Cadmiumsulfat, nunmehr die Färbung des Glases durch Uranoxyd und Selen hervorgerufen wird. Werden der Glasmasse diese Substanzen hinzugesetzt, so erhält das unmittelbar aus dem Hafen ohne nachherige Anwärmung oder Anlaufenlassen verarbeitete Glas einen im durchscheinenden Lichte orangegelben, im auffallenden Lichte grünlichen Farbenton, unterscheidet sich also wesentlich von den bekannten Urangläsern, die sowohl im auffallenden wie im durchscheinenden Lichte stets einen grünlichen Farbenton aufweisen.

In demselben Jahre ist dem Dr. A. Spitzer, Wien, ein Verfahren zum Rotfärben von Glas mittels Seleniten und Selenaten patentiert worden. Es soll Glas in solcher Weise rot gefärbt werden, daß es für grüne Lichtstrahlen mehr oder weniger undurchlässig wird. Zu diesem Zwecke wurde bisher Selen verwandt, welchem Vorgange der Nachteil anhaftete, daß ein großer Teil des teueren Materials beim Einschmelzen des Glassatzes, mit welchem es vermengt war, oder bei seinem Zusatze zu der bereits geschmolzenen Glasmasse zu seleniger Säure verbrannte und sich als solche verflüchtigte. Spitzer verwendet nun der vorliegenden Erfindung gemäß statt metallischen Selens geeignete Selenite oder Selenate, die man nach ihrer vollständigen Lösung in der Glasmasse durch ein Reduktionsmittel zersetzt. Man bedient sich dabei vorzugsweise der Selen-Alkalien oder der alkalischen Erden, kann aber auch andere selenige oder selensaure Salze verwenden, vorausgesetzt, daß die Basen dem Glase keine andere Färbung geben. Gewöhnlich braucht man Natrium-, Kalium- oder Calciumsalze, die entweder dem Gemenge beigemischt oder der geschmolzenen Masse zugesetzt werden, wobei man für sorgfältigste Durchmischung Sorge tragen muß. Haben sich die zugesetzten Selen-Verbindungen vollständig in der Masse gelöst, so setzt man zur Reduktion die entsprechende Menge arseniger Säure, arsenigsaures Natron-Kali oder schwefelsaures Natron hinzu und mengt gut durch. Die zur Färbung nötige Menge wird am besten durch einen Versuch in kleinem Maßstabe ausprobiert.

Außer den angegebenen selenigsauren und selensauren Salzen können noch verschiedene Selenverbindungen zum Rotfärben des Glases Anwendung finden, indem dieselben dem Glassatze vor dem Schmelzprozeß oder während desselben mit Reduktionsmitteln zugesetzt werden. Diese Verbindungen sind Selennatrium resp. -Kalium, Selencalcium, Selencyankalium, und ähnliche Verbindungen. Es eignen sich überhaupt alle Selenverbindungen, die in der Hitze beständig, nur nicht mit einem färbenden Metalloxyd verbunden (gefärbt) sind. Zahlreiche neue Nüancen lassen sich auf diese Weise durch Kombination von Selen und Selenverbindungen mit anderen Körpern z. B. Selen und Selenverbindungen mit Gold, Silber, allen Metalloxyden, Knochen, Kryolith, Fluß- und Feldspat und anderen Färbe- und Trübungsmitteln erzielen.

Die Bereitung des Glasſatzes.

Unter Glasſatz oder Gemenge verſteht man das auf den einzelnen Hütten gebräuchliche Mengeverhältnis der Rohmaterialien für eine beſtimmte Glasſorte. Für eine Glasſorte iſt jedoch nicht auf allen Hütten dasſelbe Miſchungsverhältnis in Gebrauch, ſondern der Glasfabrikant ändert den Glasſatz nach ſeinen Erfahrungen und nach der Konſtruktion und der Leiſtungsfähigkeit der Öfen. Natürlich darf die Änderung nicht ſo weit gehen, daß das hergeſtellte Glas nicht den Anforderungen genügt, die an dasſelbe geſtellt werden.

Selten werden die Glasgemenge nach chemiſchen Formeln zuſammengeſetzt, ſondern der Praktiker arbeitet lieber nach überlieferten Rezepten, die brauchbare Gläſer ergeben haben. Dieſe wurden früher ängſtlich geheim gehalten, und nur die Vertrauensperſonen erfuhren die Zuſammenſetzung des Gemenges. Heutzutage iſt man im allgemeinen nicht mehr ſo ängſtlich, wenngleich auch gewiſſe Fabriken, und zwar in erſter Linie die deutſchen Spiegelfabriken, ſich in ein geheimnisvolles Dunkel zu hüllen beſtrebt ſind und die Zuſammenſetzung ihrer Gemenge eifrigſt bemüht ſind geheim zu halten. Zweck hat dieſe Geheimniskrämerei nicht, da es heute dem Chemiker nicht mehr ſchwer fällt, ſich über die Zuſammenſetzung des Glaſes auf das genaueſte zu unterrichten, ſo daß die Miſchungsverhältniſſe leicht berechnet werden können. Aus zahlreichen Analyſen ſind die Glaskompoſitionen berechnet und veröffentlicht worden. Wenn auch unter dieſer großen Zahl von Glasſätzen viele als unzweckmäßig nicht empfohlen werden können, ſo kann man doch durch Auswahl und Prüfung der vielen Kompoſitionen für jede Glasſorte eine beſtimmte und gut geeignete Miſchung angeben. Infolgedeſſen ſpricht man von Gemengen für Fenſterglas, für Kryſtall-, Hohlglas, für farbige Gläſer u. ſ. w.

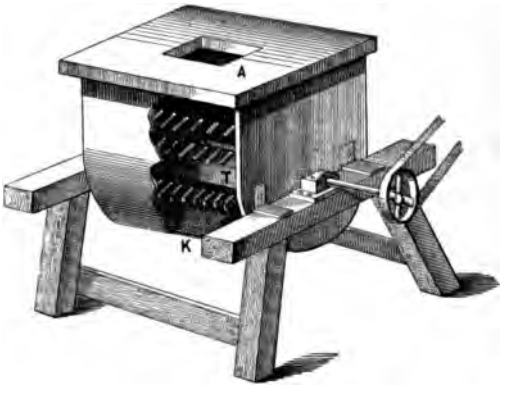
Bei ſtets gleichbleibenden Rohmaterialien kann der Praktiker ſich nach feſtſtehenden Normen richten, wechſeln jedoch dieſelben, ſo iſt es doch zweckmäßig, ſich behufs Zuſammenſetzung der Maſſe an ein Spezialaboratorium zu wenden, wenn man nicht erſt durch die in der Fabrik angeſtellten Verſuche viel Zeit verlieren und viel Lehrgeld bezahlen will.

Bei der Bereitung des Glasſatzes iſt die größte Aufmerkſamkeit erforderlich, und namentlich muß das Abwiegen in einem beſonderen Raum vorgenommen und genau kontrolliert werden. Zum Miſchen der Rohmaterialien hält man ſich zweckmäßig einen ſauberen, verſchloſſenen Raum zur Verfügung und betraut mit dem Miſchen einen zuverläſſigen Arbeiter. Die Zuſammenſetzung des Satzes richtet ſich nach dem Zweck, dem die betreffende Glasſorte dienen ſoll; dieſelbe iſt ſtets ſo zu wählen, daß man auf die Durchſichtigkeit und Widerſtandsfähigkeit, ſowie auf das Ausſehen und die Schönheit des Glaſes Rückſicht nimmt. Geſchliffene Gläſer haben aus dieſem Grunde eine härtere Beſchaffenheit, als ſolche, die nicht dieſer Prozedur unterworfen werden.

Die Gläſer, die der Einwirkung von chemiſchen Agentien möglichſt widerſtehen ſollen, müſſen daher ſo zuſammengeſetzt ſein, daß ſie beim Gebrauch im Laboratorium nicht zu ſehr leiden. Fenſterſcheiben, Spiegel u. ſ. w. müſſen möglichſt unempfindlich gegen Witterungseinflüſſe, Champagner- und Mineralwaſſerflaſchen müſſen ſo gearbeitet ſein, daß ſie einen hohen Druck aushalten können, d. h. die Glasmaſſe muß ſehr zäh ſein. Geringe Abweichungen von den als zweckmäßig erkannten Kompoſitionen ſind geſtattet, doch dürfen dieſe niemals über 10 % betragen, ſoll das daraus bereitete Glas nicht darunter leiden, nicht zu ſchwer ſchmelzbar oder zu weich werden. Im Intereſſe der Fabrikanten liegt es natürlich, eine Glasmaſſe ſo leichtflüſſig wie möglich zu machen, um die Koſten der Feuerung zu ſparen und den Ofen zu ſchonen. Es werden daher von vielen Glashütten Glasſätze verwandt, die ſehr reich an Alkali ſind. Die daraus hergeſtellten Gläſer erblinden jedoch ſehr raſch, und der betreffende Fabrikant führt dieſes Erblinden auf alle möglichen Urſachen zurück, ohne zu bedenken, daß der Glasſatz ſchuld daran ſein könnte.

Zur Herſtellung von widerſtandsfähigem Glaſe thut jeder Fabrikant gut, ſich nach den erprobten Rezepten zu richten, wobei es ihm unbenommen bleibt, je nach der Güte des Ofens die Mengen der Flußmittel etwas zu erhöhen.

Bei der Fabrikation von Weißglas wendet man nur Sande an, die möglichst frei von Thonerde, Eisenoxyd und Manganoxyd sind und fast aus reiner Kieselsäure bestehen, wie der Sand von Hohenbocka. Der Sand wird vor der Benutzung fast stets gewaschen, getrocknet und geglüht, oder aber er wird bereits gewaschen bezogen. Je feiner der Sand ist, in desto kürzerer Zeit kann abgeschmolzen werden. Auch bei den anderen Materialien ist auf möglichste Feinheit zu achten, man läßt daher zweckmäßig die vorher getrockneten Materialien durch ein feines Sieb gehen. Durch Verwendung der Materialien in feinem Zustande spart man Schmelzmittel, Zeit und Brennstoff und erhält dadurch den Ofen — da er weniger angestrengt wird — länger im Gebrauch. Die so vorbereiteten Rohmaterialien werden dann in trockenem Zustande genau abgewogen und sorgfältigst miteinander gemengt. Dieses kann geschehen durch sorgfältiges Umschaufeln der Massen oder mittels Gemengmaschinen. Das Umschaufeln geschieht auf erwärmten Eisenblechen, damit die Stoffe aus der Luft nicht Feuchtigkeit anziehen, und wird so lange fortgesetzt, bis sich Verschiedenheiten in der Masse nicht mehr erkennen lassen; zum Schlusse läßt man das Gemenge nochmals durch ein Sieb gehen, um eine recht innige Mischung zu erzielen. Sorgfältiger wird das Gemenge in Mischtonnen oder in Gemengmaschinen gemischt, die sich aber erst in wenigen Hütten haben Eingang verschaffen können. Eine solche Gemengmaschine ist die von Chance konstruierte. Diese besteht aus einem hölzernen Kasten mit halbrundem Boden, in welchem sich, mittels Kurbel oder Dampfkraft getrieben, auf einer horizontal liegenden Achse eine Trommel T bewegt, an deren Peripherie ringsum schief gegen die Achse stehende Holzstifte befestigt sind. Auf die Öffnung A in der oberen Wand des Kastens wird ein Trichter gesetzt, durch welchen die einzelnen Gemengbestandteile eingeschüttet werden, und das Gemenge wird nach mehreren Umdrehungen der Trommel durch die unten bei K befindliche Klappe in einen untergestellten Behälter entleert.



205. Gemengmaschine von Chance.

Bei der Benutzung von schwefelsauren Alkalien werden die Glassätze alsdann mit der nötigen Menge Reduktionsmittel versetzt und gemischt. Zweckmäßig ist es zunächst, die Alkalien mit der Kohle, alsdann dieses Gemisch mit dem Sande und dann mit dem Kalk zu mischen; erst zum Schlusse fügt man die Glasbrocken hinzu. Setzt man den Kalk als kohlensauren Kalk hinzu, so genügen 4—6 % Kohle (bezogen auf die angewandte Menge Sulfat), bei Anwendung von gelöschtem Kalk ist der Zusatz an Kohle zu vermehren, und man nimmt dann bis 8 %. Will man die Holzkohle durch Koks ersetzen, so nimmt man statt 100 Teile Holzkohle 160 Teile Koks; bei Anwendung von Sägespänen gibt man anstatt 100 Teile Holzkohle 260 Gewichtsteile Sägemehl hinzu. — Bereits früher wurde darauf hingewiesen, daß ein Überschuß von Reduktionsmitteln eine gelbe Färbung des Glases hervorruft, ein solcher ist daher zu vermeiden.

Will man mit Hilfe von Sulfaten gefärbte Gläser durch Metalloxyde herstellen, so sind letztere erst dann zuzusetzen, wenn die Reduktion beendet ist und sich die Silikate bereits gebildet haben. Enthält der Glassatz keine Sulfate, so setzt man die färbenden Oxyde dann hinzu, wenn die Hauptbestandteile gemengt sind, und zwar entweder in Lösung, wobei man diese über das fertige Gemenge spritzt und dann nochmals tüchtig durcharbeitet und mischt, oder indem man die färbenden Oxyde zunächst mit einem kleinen Teil des Gemenges gut vermischt und dann diese Portion mit dem Gemenge sorgfältig zusammenbringt.

Früher wurde bereits erwähnt, daß eine Mischung von Kali-Natron leichter schmilzt, als jede der Substanzen für sich. Manche Fabrikanten setzen daher ihrer Glasmasse, die

der Hauptsache nach aus Natron-Kalksilikaten besteht, eine geringe Menge Kalisalze hinzu. Man wählt das Verhältnis von Kali zu Natron in der Regel so, daß ersteres $^1/_5$ vom zweiten beträgt. Durch diesen Zusatz erlangt das Glas eine größere Elastizität, es läßt sich leichter blasen und verarbeiten und eignet sich für gewisse Zwecke besser, z. B. zur Herstellung von chemischen Gerätschaften.

Der Kalizusatz zu den Natron-Kalkgläsern ist besonders am Platze bei Häfen, die in den Ecken der Öfen stehen und nicht so viel Wärme erhalten, wie die in der Mitte. Ein Zusatz von 2 % Pottasche zu Häfen, die gewöhnlich um 2—3 Stunden zurückblieben, hatte zur Folge, daß dieselben 3 Stunden früher abgeschmolzen wurden, als die in der heißen Mitte stehenden. Will man jedoch den Kalizusatz vermeiden, so gibt man den Häfen in der Mitte 3 % Flußmittel weniger als denen, die in den Ecken stehen; dadurch erreicht man eine gleichmäßige Läuterung in allen Häfen. Dagegen ist es falsch, den zurückbleibenden Häfen während des Schmelzprozesses weitere Flußmittel hinzuzusetzen, da diese nicht mehr genügend mit dem Inhalt des Hafens vermengt werden, sondern obenauf schwimmen. Die erhoffte Wirkung bleibt daher aus, und dieser späte Zusatz schadet sehr häufig der Güte des Glases.

Glasbrocken setzt man dem Gemenge in der Regel so viel hinzu als Sand. Vor dem Zusatze derselben werden diese abgewaschen und ausgesucht und dann im trockenen Zustande mit dem Gemenge vermischt. Die Glasbrocken oder gemahlenes Glas machen die Masse härter, man kann sich daher dieses Mittels bedienen, um ein zu weich befundenes Glas zu verbessern. Werden Glasbrocken für sich geschmolzen, so erhält man ein sehr sprödes, brüchiges Glas, das nicht die genügende Festigkeit und Elastizität besitzt. Beim Umschmelzen der Glasbrocken werden diesen bis 2 % Soda oder Pottasche hinzugesetzt.

Die Entfärbungs- und Reinigungsmittel werden entweder dem Gemenge beigefügt, oder erst dem flüssigen Glase übergeben. Salpeter, Weinstein, Smalte, Kobaltoxyd werden zweckmäßig gleich dem Satze beigemischt, Arsenik und Braunstein jedoch setzt man lieber dem flüssigen Glase nach Entfernung der Glasgalle hinzu. Ein Überschuß von Arsenik macht das Glas spröde, während Braunstein im Überschuß die Glasmasse violett oder rosa färbt. Der Braunsteinzusatz richtet sich nach dem Gehalt an Eisenoxyd, der Zusatz an Arsenik braucht nur gering zu sein.

Treten Fabrikationsschwierigkeiten ein, und ist man genötigt, seinen Glassatz zu ändern, so darf dieses nur allmählich während mehrerer Schmelzungen geschehen, worauf dabei zu sehen ist, daß die Temperatur möglichst dieselbe ist. Ändert sich diese, so können die beobachteten Erscheinungen nicht allein auf das geänderte Gemenge, sondern auch auf die geänderte Temperatur zurückzuführen sein.

Bei der Zusammenstellung des Glassatzes ist natürlich darauf zu achten, wie viel flüchtige Bestandteile: Kohlensäure, schweflige und Schwefelsäure, Wasser u. s. w. die betreffenden Rohmaterialien enthalten, wonach man die Zusammensetzung des Gemenges berechnen muß. Will man z. B. das Marmormehl durch gelöschten Kalk ersetzen, so darf man nicht die gleichen Gewichtsmengen nehmen, sondern man muß statt 100 Gewichtsteile Marmor 74 Gewichtsteile gelöschten Kalk beimischen. Wird statt der Soda Glaubersalz genommen, so sind an Stelle von 100 Gewichtsteilen calc. Soda 142 Teile calc. Glaubersalz zu verwenden. Ebenso entsprechen 138 Gewichtsteile Pottasche 174 Teilen schwefelsaurem Kali.

Die hauptsächlichsten Gläser heutzutage sind ihrer Zusammensetzung nach Natrongläser, weil die Natronsalze billiger sind als die Kalisalze. Besonders sind die Glassätze für Fensterglas nunmehr fast ausschließlich mit Natronsalzen bereitet.

Die feuerfesten Glashäfen und Wannen der Glasindustrie.

Um die verschiedenen in der Fabrikation verwandten Gemenge schmelzen und so aus denselben Gläser herstellen zu können, bedarf der Fabrikant Gefäße (Häfen, Wannen), die aus Materialien hergestellt sind, die den beim Schmelzen nötigen hohen Hitzegraden und den zerstörenden Einflüssen der schmelzenden Masse und der daraus sich entwickelnden Dämpfe genügend Widerstand zu leisten vermögen.

Wahl und Vorbereitung des Glashafenthones.

Das einzige Material, das dies einigermaßen vermag, ist der Thon, und auch die Widerstandsfähigkeit des Thones ist keine absolute, da er an und für sich zwar sehr schwer, aber nicht unschmelzbar ist und sich z. B. schon in der Weißglut glasiert und in Berührung mit Alkalien zu einer email- oder glasurähnlichen Masse zusammenschmilzt. Die Beschaffenheit der zum Bau der Glashäfen und Wannen benutzten Thone ist für den Glasfabrikanten von außerordentlicher Wichtigkeit, und die Güte dieser Materialien stellt oft das Gedeihen und Bestehen einer Glashütte in Frage. Daher ist es für die Fabrikanten unumgänglich notwendig, sich eine eingehendere Kenntnis derselben zu verschaffen, damit sie das ihnen gelieferte Material prüfen oder bei Angeboten von neu aufgefundenem Material die Güte desselben kontrollieren und dasselbe mit dem alten, bewährten Material vergleichen können.

In erster Linie ist es wünschenswert, zu wissen, ob die zur Verwendung kommenden Thone den hohen Hitzegraden zu widerstehen vermögen, die erforderlich sind, das Glasgemenge bis zum klaren Fluß zu läutern; daneben auch, ob und wie weit dieselben den auflösenden Einwirkungen des Glassatzes widerstehen. Diejenige Hafenmasse ist die beste, welche der Schmelze am längsten standhält. Von den Thonen, die dies bis zu einem gewissen Grade zu thun vermögen, ist erfahrungsgemäß solchen den Vorzug zu geben, die sich in ihrer Zusammensetzung möglichst der reinen Thonsubstanz Al_2O_3, $2SiO_2$, $2H_2O$ nähern. In geologischer Beziehung finden sich solche Thone hauptsächlich in der Tertiär- und Kreideformation. Doch nicht alle hier gefundenen Thone eignen sich zum Bau der Glasschmelzöfen, sondern nur diejenigen, die neben möglichster Reinheit ein hohes Maß von Bildsamkeit, Plastizität, besitzen. Die Bildsamkeit muß so weit gehen, daß dem Thon 50—60 % Magerungsmittel, gewöhnlich Chamottekörner in verschiedenen Größen, zugesetzt werden können, ohne daß die gemagerte Masse erheblich an Plastizität verliert. Außerdem müssen diese Thone bei möglichst niedriger Temperatur vollständig dicht brennen, da dichtgebrannte Massen der Glasschmelze erfolgreicher widerstehen können, als poröse, denn in diese kann die Glasmasse eindringen, wie Wasser in einen Schwamm; ein mit Glasmasse getränkter Scherben hält jedoch den hohen im Glasofen herrschenden Temperaturen nicht stand, weil die Hafenmasse durch die erhebliche Alkaliaufnahme leichter schmelzbar wird.

Die Untersuchung einer großen Zahl von Thonen, welche zur Glasfabrikation benutzt werden und sich bewährt haben sollen, hat ergeben, daß unter Umständen schon Thone genügend feuerfest sind, deren Schmelzpunkt bei Segerkegel 30 liegt; jedoch ist ein höher schmelzender Thon vorzuziehen, wenn die übrigen Forderungen, Plastizität und leichte Sinterung, gleich gut erfüllt werden. Bei der Beurteilung des Bindevermögens ist die Größe der Chamottekörner und auch das Verhältnis, in welchem die einzelnen Korngrößen gemischt sind, in Betracht zu ziehen. Über die Größe und das Verhältnis der Chamottekörner, welche Verwendung finden, lassen sich keine bestimmten Normen aufstellen. Während früher vielfach das Mehlfeine, welches beim Zerkleinern entstand, ganz verworfen wurde, wird dasselbe jetzt mit verarbeitet, weil sich ergeben hat, daß der Bindethon ohne Versatz mit mehlfeinen Magermitteln zu stark schwindet und infolgedessen Risse zwischen den einzelnen Körnern entstehen, welche besser vermieden werden. Die Industrie feuerfester Produkte umgeht das starke Schwinden im Feuer dadurch, daß sie den Bindethon gleichzeitig mit Kaolinen verarbeitet; auch in der Glasindustrie wird den Massen gern ein kaolinartiger Zusatz gegeben.

Eine seit lange bewährte Hafenmasse, welche einer Glashütte entnommen wurde, zeigte auf 100 Teile Hafenthon 120 Gewichtsteile Chamotte; letzterer ergab bei einer näheren Prüfung durch Sieben, daß die Zerkleinerung so weit ging, daß auf einem Siebe von 4 Maschen pro Quadratzentimeter kein Rückstand hinterblieb; 20 % verblieben auf dem Siebe von 60 Maschen auf den Quadratzentimeter; 12 % auf einem Siebe von 120 Maschen, 24 % auf einem Siebe von 900 Maschen, 30 % auf einem Siebe von 5000 Maschen, 14 % waren so fein, das sie durch ein Sieb von 5000 Maschen hindurchfielen.

Die gestellte Forderung des früheren Dichtbrennens muß erfüllt werden, damit die Hafenmassen mit hohem Chamotteversatz auch die erforderliche Dichte bei nicht zu hoher Brenntemperatur erlangen, da die Dichtbrenntemperatur um so höher liegt, je größer der Chamottezusatz ist. So liegt beispielsweise die Dichtbrenntemperatur der oben näher beschriebenen Hafenmasse bei Segerkegel 5, während die Dichtbrenntemperatur des verwandten Hafenthones schon bei Segerkegel 1 liegt. Wird nun zum Binden der Chamottekörner ein Thon benutzt, der erst bei hoher Temperatur sintert, so wird die Dichtbrenntemperatur so weit heraufgerückt, daß es schwer ist, die Chamottemasse dicht zu brennen. Ein Thon, der bei Segerkegel 6 dichtbrannte, zeigte mit 50 % Chamotte versetzt eine Dichtbrenntemperatur, die über Segerkegel 15 lag. Dieser Umstand ist zu beachten, weil meistens die Häfen im Glasofen gebrannt werden. Bei Verwendung von spät dicht brennenden Thonen tritt leicht der Fall ein, daß die Chamottemasse selbst bei der Temperatur noch nicht dichtgebrannt ist, bei welcher das Glasgemenge zu schmelzen beginnt.

Die Untersuchung der feuerfesten Thone zur Verwendung in der Glasfabrikation erstreckt sich also zweckmäßig auf die Ermittelung des Schmelzpunktes und die Bestimmung der Dichtbrenntemperatur, der Plastizität, der Schwindung, der chemischen Zusammensetzung. Solche Thone, die den an Glashafenthon gestellten Anforderungen vollständig genügen, sind selten, und die bekanntesten Thonlager dieser Art finden sich in Deutschland: am Rhein bei Vallendar und Mehlem; in der Provinz Hessen-Nassau zu Groß-Almerode bei Kassel und in dem Kreise Montabaur (Selters); in Bayern bei Grünstadt in der Pfalz und in der Umgegend von Passau und Deggendorf; in Sachsen bei Klingenberg; in Schlesien bei Saarau u. a. Orten. In Böhmen finden sich brauchbare Thone bei Pilsen und Melnik, in Österreich bei Göttweih und zu Leoben in Steiermark, in Rußland zu Gluchow, in Schweden zu Höganäs bei Helsingborg. Von englischen Thonen ist der von Stourbridge und von Garnkirk in Schottland hochgerühmt. Von den französischen Thonen genießt der von Forges les Eaux den größten Ruf, von belgischen Thonen der von Huy bei Namurs, und besonders letztere werden noch vielfach in Deutschland verarbeitet, obwohl dieselben an Güte gewissen deutschen Thonen gleichkommen oder nachstehen.

Die Untersuchungen von guten Glashafenthonen, die sich bewährt haben, ergaben in der Regel einen Schmelzpunkt von Segerkegel 30 bis hinauf zu Segerkegel 35. Darüber hinaus waren die Thone selten zu Glashäfen und Wannen zu gebrauchen, sondern hatten dann einen ausgesprochen thonschiefrigen Charakter, doch fanden sich häufig noch brauchbare Thone, die leichter schmelzen als Segerkegel 30. Die Dichtbrenntemperatur liegt bei den meisten Thonen bei Segerkegel 1, doch fanden sich solche, die schon bei Segerkegel 05 vollständig dicht gebrannt waren. Die Wasseraufnahmefähigkeit der dichtgebrannten Steine betrug 1—2 %, das Porositätsvolumen über 4 %. Die Schwindung war bei den meisten Thonen sehr groß und ging nahe an 20 %. Die guten Glashafenthone von der Pfalz, Hessen-Nassau und die belgischen Thone zeigten eine große Plastizität, und das Bindevermögen betrug im Durchschnitt bei feinem Quarz resp. Chamotte = 80 % (diese war durch ein Sieb gegangen von 900 Maschen pro Quadratzentimeter), und bei grobem Quarz resp. Chamotte = 60 %. Bei letzterer war die Korngröße derart, daß auf dem Siebe von 4 Maschen pro Quadratzentimeter kein Rückstand hinterblieb.

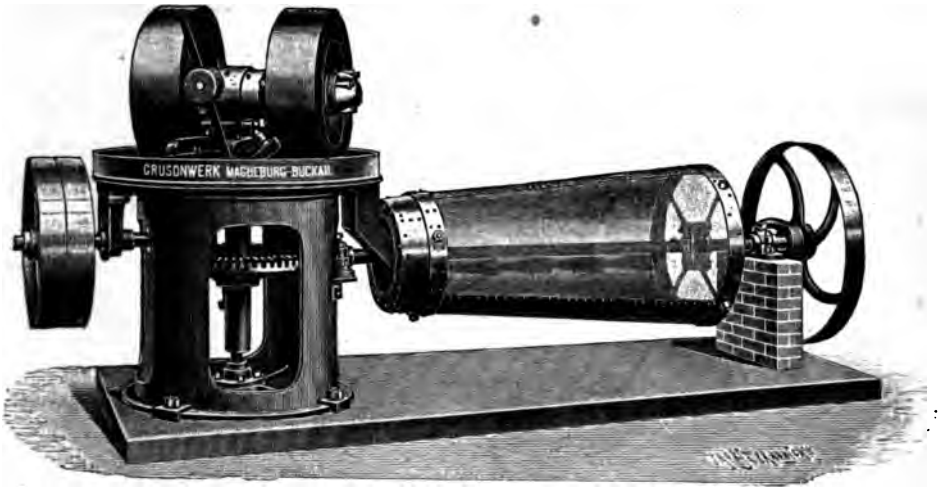
In den meisten Fällen sind die feuerfesten Rohthone, wie sie von den Glashütten bezogen werden, nicht ohne weiteres zu gebrauchen, sondern dieselben müssen erst genügend vorbereitet werden. Gewöhnlich beziehen die Glashütten die Thone zum Bau der Häfen und Wannen in größeren Schollen. Durch den Transport sind diese in den meisten Fällen auf der Oberfläche verunreinigt und in der Regel auch nicht durchweg gleichmäßig, sondern enthalten verschieden gefärbte Schichten, die oft sand- und eisenhaltig sind. Von den fremden Beimengen müssen die Thone zunächst befreit werden. Zu diesem Zwecke werden die Schollen an der Oberfläche durch Schaben und Beschneiden von den anhaftenden Fremdkörpern befreit und häufig unter einem bedachten Schuppen getrocknet. Nach dem Trocknen werden die Schollen in Stücke zerschlagen und die gleich gefärbten

Stücke auf Haufen geworfen, also durch Auslesen von den Beimengungen befreit. Diese ausgelesenen Stücke und die Abfälle von dem guten, gleichmäßigen Material werden zu feuerfesten Steinen zweiter Qualität verarbeitet. Der trockene, sorgfältigst gereinigte Thon wird dann auf Kollergängen gemahlen und ist zur weiteren Benutzung fertig.

Der zum Bau der Häfen und Wannen nötige gebrannte Thon wird entweder auf der Glashütte selbst hergestellt, indem die Thonstücke in Flammenöfen bei heller Rotglut gebrannt und dann ebenfalls auf Kollergängen zerkleinert werden, oder bei kleineren Betrieben beziehen die Fabrikanten die nötige Chamotte direkt aus den Chamottefabriken. In manchen Betrieben wird der Thon nach dem Mahlen noch gesiebt, und das Sieben des Thones wird zweckmäßig mit dem Mahlen desselben verbunden.

Eine solche Mahl- und Siebvorrichtung ist in Abb. 206 dargestellt. In die Siebtrommel gelangt das Mahlgut durch eine Öffnung am Rande des Läufertellers. Die Siebe trennen das genügend feine Erzeugnis von dem groben, worauf letzteres wieder auf den Teller geschafft wird.

Eine Reinigung des Thones durch Schlämmen wird in den seltensten Fällen auf den Glashütten selbst vorgenommen, da jeder Fabrikant darauf sehen muß, Thone zu



206. Kollergang mit Siebtrommel.

beziehen, die frei von schädlichen Beimengungen wie Schwefelkies, Gips, stückigem kohlensaurem Kalk u. s. w. sind. Ist ein Schlämmen des Thones unumgänglich zu seiner Brauchbarmachung für die Glasfabrikation oder zu seiner Verbesserung notwendig, so bedient man sich am zweckmäßigsten der Schlämmmaschine. Die Zeichnung stellt eine kontinuierlich arbeitende Schlämmmaschine dar, die selbstthätig die Rückstände entfernt. Der feine Thonschlamm wird von der Schlämmereianlage mit Hilfe von Kanälen in besonders dazu hergerichtete Bassins geleitet, wo die Thonmasse zum Absitzen kommt, worauf das überstehende Wasser abgezogen und der Thonschlamm eingetrocknet wird. Das eingetrocknete Schlämmprodukt wird dann wie gewöhnlich verarbeitet.

Ein drittes Material, das für die Stein- und Hafenformerei gebraucht wird, sind die gemahlenen, scharf und schwach gebrannten Hafenschalen der alten, gebrauchten Häfen. Diese dienen wie die aus dem Thone hergestellte Chamotte zum Magern des plastischen Glashafenthones. Die Hafenschalenstücke werden nach ihrem Aussehen, der Höhe des Brandes, sortiert, von der anhaftenden Glasmasse befreit und auf Kollergängen, wie der Quarz und der Thon, zerkleinert.

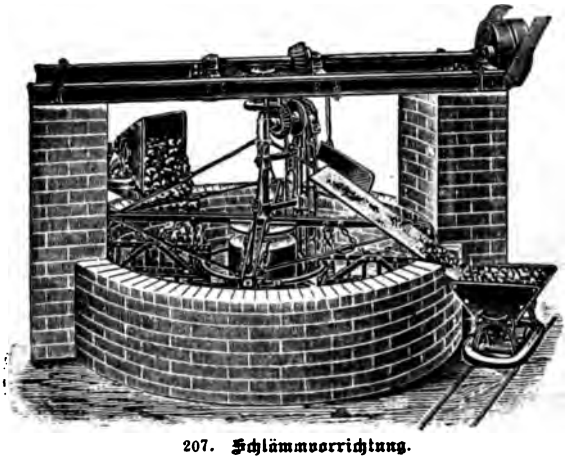
Zum Bau der Häfen und Wannen sind also erforderlich: 1. ein homogenes, feines Thonpulver, 2. gebrannter und gemahlener Thon, Chamotte, 3. gemahlene Hafenschalen, teils dicht gebrannt, teils Schwachbrand.

Die Korngröße der Magerungsmittel ist auf die Widerstandsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von großem Einfluß, und man gibt die Magerungsmittel deshalb in verschiedenen Korngrößen dem Bindethon hinzu.

Um ein möglichst frühes Dichtbrennen der Hafenmasse herbeizuführen, muß man einen Teil der Magerungsmittel als feines Pulver hinzusetzen. Man erhält dann außerdem eine plastischere Masse, die sich bequemer verarbeiten läßt und welche es erlaubt, die Häfen möglichst dünnwandig herzustellen. Daneben ist jedoch ein Zusatz von gröberer Chamotte erforderlich, um die Häfen und Wannen unempfindlicher gegen Temperaturwechsel zu machen. Die Mengenverhältnisse der zuzusetzenden Magerungsmittel und deren Korngröße werden für jeden Thon durch Versuche ermittelt, und es empfiehlt sich, mit solchen Untersuchungen ein Spezial-Laboratorium zu betrauen.

Der Bau der Häfen.

In fast allen Glashütten, auch bei den kleinsten Betrieben, findet man einen besonderen Raum, die Hafenstube genannt, in welcher die Häfen hergestellt werden. Die Herstellung geschieht durch besondere Arbeiter, die bei größeren Betrieben einem Hafenmeister unterstellt sind. Aber auch jedes kleinere Werk hat seinen besonderen Hafenmacher, der ein zuverlässiger und treuer Arbeiter sein muß, da von der Güte der Häfen viel für den Fabrikanten abhängt.



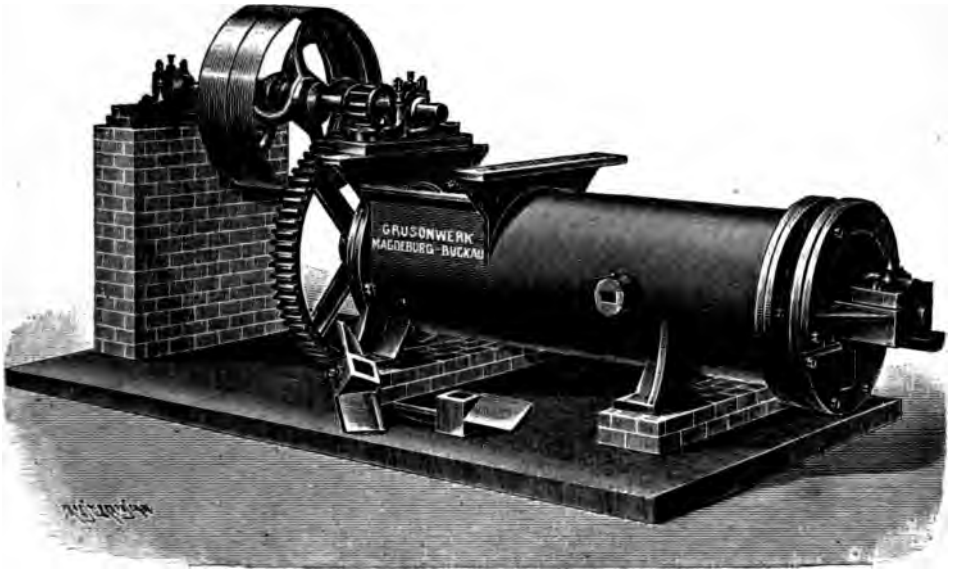
207. Schlämmvorrichtung.

Um für einen Thon, dessen chemische Zusammensetzung man kennt, und dessen physikalische Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Dichtbrenntemperatur und Schwindung, man durch Versuche ermittelt hat, die richtige Menge der Magerungsmittel selbst leicht herausfinden zu können, fertigt man etwa einen Monat vor Beginn der laufenden Hafenfabrikation zehn Probehäfen aus zehn verschiedenen Gemengen; jeder Hafen wird mit einer Nummer und dem Tage seiner Herstellung bezeichnet. Nicht brauchbare Häfen erkennt man schon während des Trocknens; zu magere Häfen erhalten am Boden Risse und Sprünge, zu fette Häfen bleiben lange feucht, sie geben also ihr Wasser schwer ab, sind kleiner als die anderen, also stark geschwunden. Die als zu fett oder zu mager erkannten Häfen läßt man unberücksichtigt und beginnt nun mit der Fabrikation von Häfen mittlerer Zusammensetzung. Sobald die Versuchshäfen mittlerer Zusammensetzung vollkommen trocken sind, bringt man sie zusammen in den Ofen und beobachtet sie vom Einsetzen an bis zu ihrer Zerstörung. Die einzelnen Beobachtungen beim Trocknen der Häfen und im weiteren Gebrauch, sowie die Massenzusammensetzungen, Korngröße, Anmachewasser u. s. w. notiert man sich für jede Hafenzusammensetzung und erhält somit für die Zukunft die nötigen Anhaltspunkte.

Eine deutsche Weißtafelglashütte stellte gute, brauchbare Häfen aus folgender Mischung her: 3 Teile Groß-Almeroder Thon, roh, 2 Teile Meißener Thon, roh, 3 Teile Chamotte von Kulmiz-Saarau in Schlesien, 3 Teile Hafenschale (schwach gebrannt). Das Verhältnis von rohem Thon zu gebranntem betrug demnach 5 : 6.

Hat man so durch Gebrauch eines Thones oder durch Zusatz und Vermengen eine gute Hafenmasse herausgefunden, so geht man an die Fabrikation der Häfen, wobei es sich empfiehlt, stets einen größeren Vorrat anfertigen zu lassen, da gut ausgetrocknete alte Häfen den Einflüssen der Schmelze und Temperatur besser widerstehen. Zunächst wird der Rohthon mit der nötigen Menge Chamotte versetzt und sorgfältig durcheinander

gemengt. In kleineren Betrieben, wo man nur mit einem Ofen arbeitet, bedient man sich hierzu hölzerner Kästen von 3 m Länge, 1,8 m Breite und 25 cm Tiefe. In diese Kästen schüttet man Thon und Chamotte in dem richtigen ausprobierten Verhältnis, worauf dann ein Arbeiter in denselben hineinsteigt und hier mittels einer Schaufel das Ganze gut durcheinander bringt. Dann werden Vertiefungen in die Masse eingedrückt und diese voll weichen Wassers gegossen; häufiger benutzt man auch heißes Wasser. Der Arbeiter verarbeitet nun die Masse mit einer spatelförmigen Schaufel zu einem gleichmäßigen, steifen Brei und breitet sie dann in dünner Schicht aus, um sie nun mit den Füßen gut durchzutreten. Hierauf schneidet der Arbeiter kleine Stücke ab und schleudert sie mit Gewalt gegen den Boden des Kastens, wobei er darauf acht hat, daß beim Abstechen eine gerade Linie verbleibt und auf der leeren Seite des Bodens wiederum eine gleichmäßig starke Schicht entsteht. Hat die Masse so den Platz gewechselt, so fängt er wieder neu an zu treten und wiederholt dies fünf- bis sechsmal. Die erhaltene gleichförmige Masse wird nun mit einem feuchten Tuche bedeckt, 24 Stunden liegen gelassen

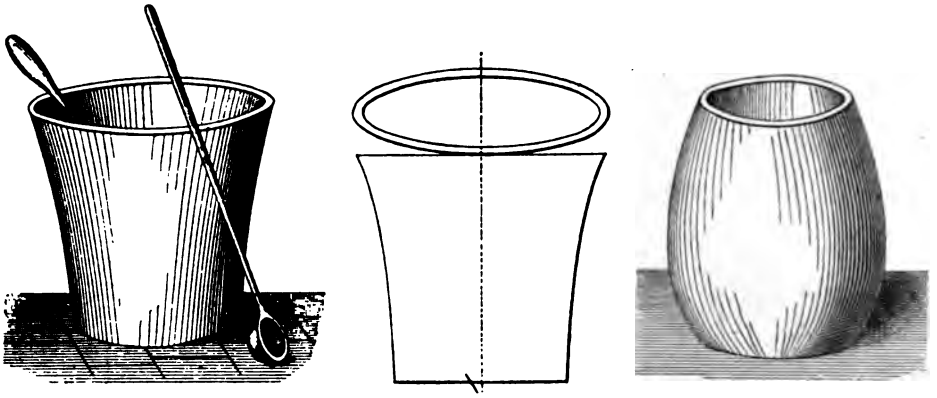


208. Liegende Thonknetmaschine.

und alsdann nochmals umgestochen. Manche Fabriken lassen den Thon, bevor derselbe verarbeitet wird, in eigenen dazu hergerichteten Lagerräumen drei bis sechs Wochen faulen oder mauken, wodurch die Masse plastischer und zur Verarbeitung geeigneter wird. — Für größere Betriebe, in welchen zwei bis drei Öfen zu je sechs Häfen in Thätigkeit sind, bedient man sich zum Mischen der Hafenmaterialien sogenannter Mischtonnen, die je nach ihrer Größe verschiedene Mengen Thon und Chamotte aufnehmen können. Außerdem gibt es zur gründlichen Homogenisierung gewisse Thonknetmaschinen oder Thonschneider. Eine solche Thonknetmaschine (Abb. 208) besteht im wesentlichen aus einem wagerecht angeordneten Cylinder, in welchem sich eine mit schraubenflügelartig geformten Stahl- oder Hartgußmessern besetzte Welle dreht. Bei der Bewegung derselben werden die im Cylinder befindlichen Stoffe geknetet und gemischt und zugleich der Austrittsöffnung zugeführt. Sind die Stoffe mit Steinen oder harten Knollen durchsetzt, so empfiehlt sich die Verbindung eines Walzenpaares mit der Knetmaschine.

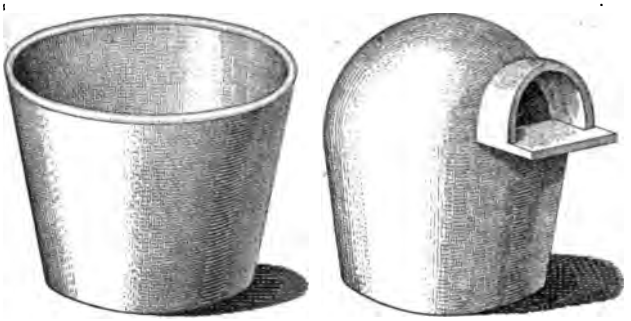
Die auf die eine oder andere Weise gut homogenisierte Masse wird nun in einem besonderen Raum, der Hafenstube, weiter verarbeitet. Man unterscheidet in der Art der Häfen die offenen und die überwölbten Häfen. Die gebräuchlichste Form der Schmelzhäfen für die Fabrikation der bleifreien Gläser, wie Hohlglas, Tafelglas, ist die runde

oben offene Form, während man sich zur Fabrikation des Kryſtallglaſes, Flintglaſes u. ſ. w. der überwölbten Form bedient. Außerdem finden letztere noch Anwendung bei Steinkohlenfeuerung zu den feinſten und weißeſten Glasſorten. Die überwölbten Häfen verlangen zum Schmelzen des Glaſes eine weit höhere Temperatur, allein man kann in dem einen ſchmelzen, während man gleichzeitig in den anderen das Glas läutert, ſo daß die Arbeit bei Benutzung dieſer Häfen nicht unterbrochen zu werden braucht. Zur Herſtellung des gewöhnlichen Glaſes können ſie jedoch nicht verwendet werden, da ſich durch den Mehrverbrauch der Feuerung die Fabrikation zu ſehr verteuern würde. Die Form



209—211. Alte Häfen.

und Größe der Häfen war in den einzelnen Zeiten ſehr verſchieden. In den früheſten Zeiten fand man krugförmige Häfen, dann dreikantige in verſchiedener Form und ſchließlich runde Formen. Seit dem Anfange der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ſind jedoch faſt allgemein nur zwei Formen von offenen Häfen im Gebrauch, nämlich Häfen mit kreisrundem und ſolche mit mehr oder weniger elliptiſchem Horizontalſchnitt; beide ſind nach dem Boden zu verjüngt und zwar deshalb, weil man bei möglichſter Nutzung der einzelnen Häfen, der Raumerſparnis halber, doch der Flamme die Möglichkeit geben will, jeden Hafen vollſtändig zu umſpülen. Die überwölbten Häfen ſind oben geſchloſſen und beſitzen nur ſeitlich an der Kuppel einen halsförmigen Anſatz, welcher außerhalb der Ofenwand und der Arbeitsöffnung des Ofens hervorragt und ſo gegen den einen Ofenraum vollſtändig abgeſchloſſen iſt. Während des Schmelzprozeſſes wird überdies vor die Muffel ein entſprechender Deckel als Verſchluß geſetzt. Bei der Fabrikation von Gußſpiegelglas bediente man ſich früher zum Schmelzen der Gemenge viereckiger Häfen. In neuerer Zeit jedoch gebraucht man auch zum Schmelzen des Spiegelglasſatzes die runden, nach unten ſich verjüngenden Formen, die allgemein im Gebrauch ſind.



212. Neuer offener Hafen. 213. Bedeckter überwölbter Hafen.

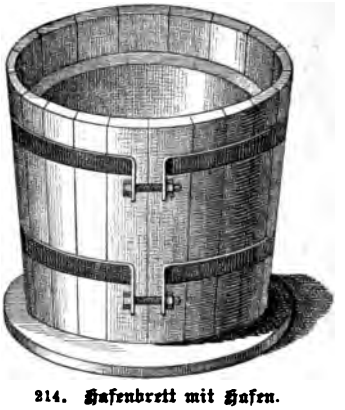
Die in Deutſchland zuerſt benutzten Schmelzgefäße waren ſehr klein, und erſt in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts folgte man den franzöſiſchen und belgiſchen Fabriken und ſtellte die Häfen etwas größer her, doch werden im allgemeinen auch heute noch in Deutſchland kleinere Schmelzgefäße benutzt als z. B. in Frankreich, Belgien und England. In deutſchen Fabriken richtet ſich die Größe der Schmelzgefäße nach der Art des zu fabrizierenden Glaſes, und ſie ſind gewöhnlich ſo eingerichtet, daß ein Glasmacher einen Hafen

in einer Schicht (12 Stunden) ausarbeiten kann. Den Fassungsraum solcher Häfen rechnet man für Weißglas zu 60—90 kg (= 30—45 l), für Tafelglas zu 100—300 kg (= 60—150 l), für geblasene Spiegel zu 200—500 kg (= 100—250 l), für Flaschenglas zu 150 kg (= 75 l).

Der Höhe entspricht heutzutage so wie damals der obere Durchmesser des Hafens, während der untere Durchmesser 8—12 cm kleiner genommen wird. Dem Boden und der Wand gibt man eine Stärke von $^1/_{12}$ des oberen Durchmessers, doch nimmt die Wandstärke allmählich bis zum Oberrande bis auf $^1/_{20}$ ab. Beträgt z. B. der obere Durchmesser 43—56 cm, so ist die obere Wand 4 cm, die untere 4—7 cm, der Boden 6 cm dick zu machen.

Das Formen der Häfen.

Das Formen der Häfen gehört mit zu den schwierigsten Arbeiten in der Glasfabrikation und erfordert große Umsicht und Geschicklichkeit sowie gewissenhafte Ausführung. Die Formgebung geschieht auch heutzutage fast noch durchgängig mit der Hand in hölzernen Formen, manchmal auch ohne solche. Das Pressen der Häfen mittels Maschinen hat sich noch immer nicht vollständig eingebürgert und wird nur in Belgien und Frankreich und in der Spiegelmanufaktur von St. Gobain ausgeführt.

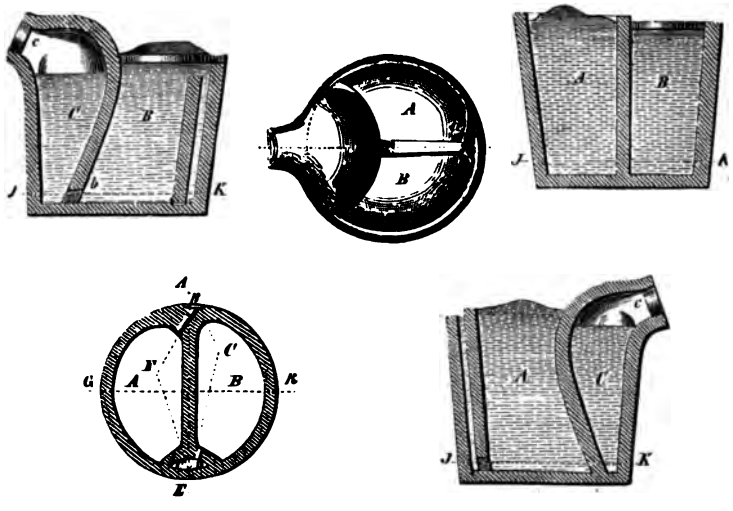


214. Hafenbrett mit Hafen.

Um einen gewöhnlichen Hafen auf die erstgenannte Weise herzustellen, nimmt der Hafenmacher, der durch Gehilfen unterstützt wird, ein starkes rundes Brett, das sogenannte Hafenbrett (fonceau), eine runde 2—3 cm starke Holztafel, deren Durchmesser etwa 20 cm größer als der Durchmesser der größten herzustellenden Häfen, und gewöhnlich behufs leichterer Handhabung mit einem Paar unter ihr durchgehenden Traghölzern versehen ist. Dieses Brett wird auf einem darunter gelegten Holzkreuze von 5—10 cm Dicke sicher und genau horizontal aufgestellt und mit einer dünnen Schicht grobgemahlener Hafenscherben bestreut, um das Anhaften der Thonmasse zu verhindern; auch legt man in manchen Fabriken ein Packtuch unter. Unterdessen schneidet der Gehilfe des Hafenmachers etwa 15—20 cm lange Stücke aus der bereitgestellten feuchten Thonmasse. Diese Stücke werden alsdann von dem Hafenmacher mit aller Gewalt auf die Mitte des Holzbrettes geworfen, bis sich hier ein genügend großer Haufen Thon befindet, der zum Formen des Bodens benutzt wird. Diese Thonmasse wird unter kräftigem Schlagen mittels Holzbleuels allmählich zu einem flachen Fladen von gleichmäßiger Dicke ausgebreitet, dessen Durchmesser einige Zentimeter kleiner als die Form ist. Dann wird die „Form" auf das Hafenbrett gestellt. Diese Form ist ein aus starken Faßdauben zusammengesetzter Kübel ohne Boden, der durch zwei eiserne Reifen zusammengehalten wird, die mittels Vorstecker zu verschließen sind; um das Anhaften des Thones zu verhindern, ist die „Form" mit feuchtem Packtuch überzogen. Nun beginnt der Hafenmacher den Boden zu vollenden. Zu diesem Zwecke wird die Masse so lange gestampft, bis sie die Form unten am Boden ausfüllt. Nachdem der Hafenboden überall auf gleiche Dicke gebracht ist, drückt der Hafenmacher die Ränder desselben mittels des gekrümmten Zeige- und Mittelfingers überall nieder und scharf in den Winkel zwischen Form- und Hafenbrett hinein. Die so hergestellte Vertiefung dient nachher als Ansatzstelle für die Hafenwände. Unterdessen formt der Geselle des Hafenmachers 15—30 cm lange und 3—8 cm dicke Rollen aus Thon, welche der Hafenmacher der Reihe nach übereinander legt, knetet, klopft und die Anhaftstellen mit den Fingernägeln aufrauht. Die neu angesetzten Thonstücke werden mit der Hand oder dem Bleuel gegen die Form geschlagen, bis sie eine bestimmte Stärke haben, und der Hafenmacher fährt mit dieser Arbeit so lange fort, bis der Hafen die nötige Höhe hat.

Iſt der Hafen auf die beſchriebene Weiſe im rohen Zuſtande fertig geſtellt, ſo beginnt die Bearbeitung desſelben. Zu dieſem Zwecke werden die Hafenwände vom Boden angefangen mit der Hand oder mittels Bleuel gegen die Form geſchlagen, wodurch die Thonmaſſen verdichtet werden und eine innige Vereinigung der Thonrollen herbeigeführt wird. Außerdem wird durch dieſes Verfahren der Hafen auf eine gleichmäßige und richtige Wandſtärke gebracht. Dieſe Bearbeitung mit dem Bleuel wird beſonders bei fetten Hafenmiſchungen nach einigen Tagen mehrfach wiederholt. Alsdann wird der Hafen im Inneren mit einem 5—6 cm langen Blechſtück mit abgerundeten Ecken gleichmäßig verſtrichen und geebnet. Die Form und das Packtuch werden nun ebenfalls abgenommen und auch die äußeren Hafenwände glatt geſtrichen.

In ganz ähnlicher Weiſe geſchieht auch das Formen der Häfen ohne Benutzung des hölzernen Kübels als Form. Die mittels freier Hand verarbeiteten Thonmaſſen werden nur etwas ſteifer genommen, damit die Wände des von Anfang an freiſtehenden Hafens ſich nicht verbiegen. Dieſe Art der Hafenherſtellung verlangt eine größere Geſchicklichkeit des Hafenmachers, der bei der Arbeit als Stütze der neu ausgelegten Wandteile ſeine linke Hand benutzt. Bei guten Hafenmachern iſt ein Unterſchied in der Güte der Häfen, die mit oder ohne Form hergeſtellt werden, nicht feſtzuſtellen.

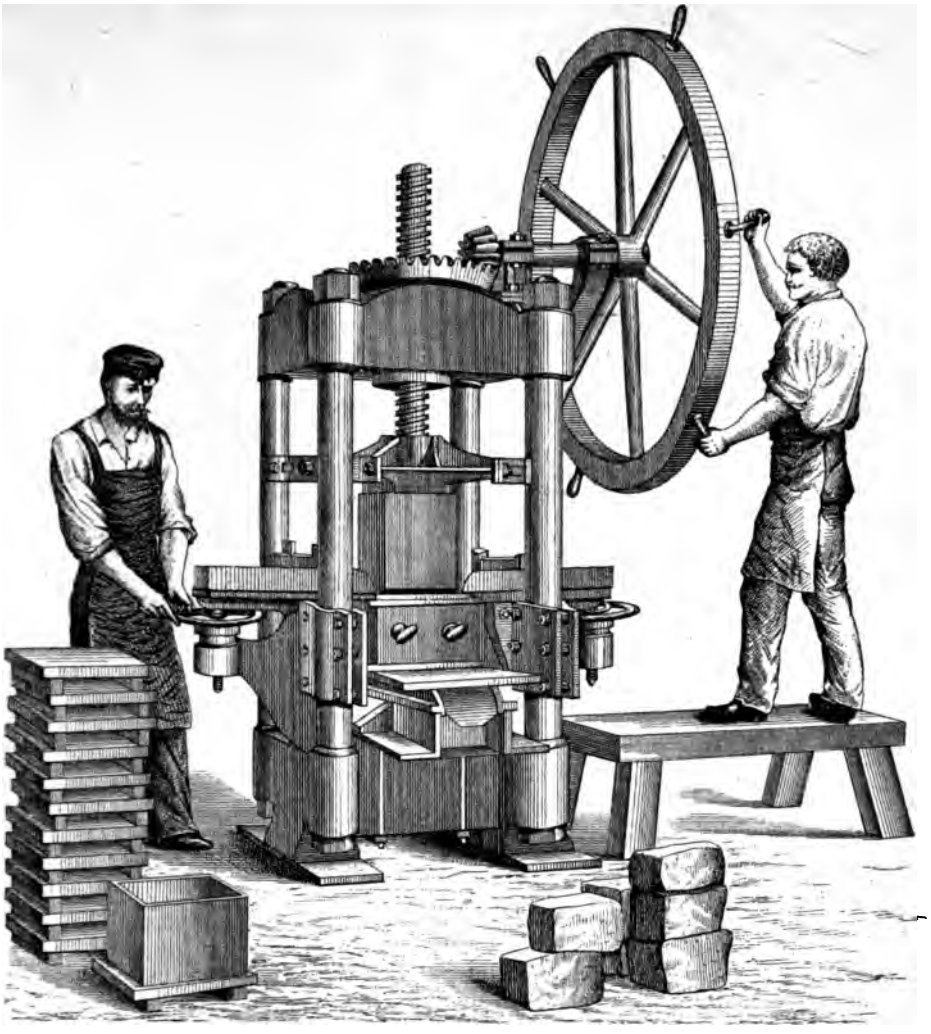


215—220. Siemensſcher Glashafen.

Wie die gewöhnlichſte Hafenform, ſo können auch die überwölbten Häfen mittels Form oder freier Hand in ähnlicher Weiſe hergeſtellt werden, wenigſtens bis zur Höhe des Dammes. Letzterer wird nur aus freier Hand hergeſtellt. Zum Bau der Wölbung ſetzen die Hafenmacher ebenfalls Rolle an Rolle, die ſie durch Zuſammenkneten verbinden, wobei die Wände allmählich etwas eingezogen werden. Iſt die freie obere Öffnung ſo klein geworden, daß die linke Hand die arbeitende rechte behindert, ſo wird die ſeitliche Öffnung der Kappe mit einem ſcharfen Meſſer ausgeſchnitten und in die erhaltene Öffnung die Linke eingeführt, während die Rechte die Wölbung der Kappe vollendet und ſchließt. Der Anſatz wird alsdann durch ſeitliches Ankneten von Thonrollen bis zur gewünſchten Länge gebildet oder für ſich geformt und dann an den Hafen angeknetet. Damit der Anſatz nicht abreißt, muß er bis zum Trocknen mit einem Gerüſt geſtützt werden.

Dieſe eben geſchilderten Häfen halten jedoch alle nicht genügend lange vor, da ſie fortwährend großen Temperaturſchwankungen ausgeſetzt ſind. Die Häfen müſſen faſt täglich die hohe Schmelztemperatur aushalten und in der übrigen Zeit, in der das geſchmolzene Glas ausgearbeitet wird, erleiden dieſelben eine ſehr große Abkühlung, worauf ſie nach der Ausarbeitung wieder ſtark erhitzt werden und wieder abgekühlt werden müſſen. Durch dieſe Methode leiden nicht nur die Häfen, ſondern es wird auch Zeit und Brennmaterial verloren. Um dieſen Übelſtänden abzuhelfen, war man ſchon früher darauf bedacht, kontinuierliche Häfen herzuſtellen.

Bontemps berichtet von einem ſolchen zweiteiligen Hafen, der von Marlot konſtruiert wurde, aber nicht die gewünſchten Reſultate ergab. Später verſuchte man es mit dreiteiligen Häfen für den ununterbrochenen Betrieb. So iſt von Fr. Siemens ein Hafen

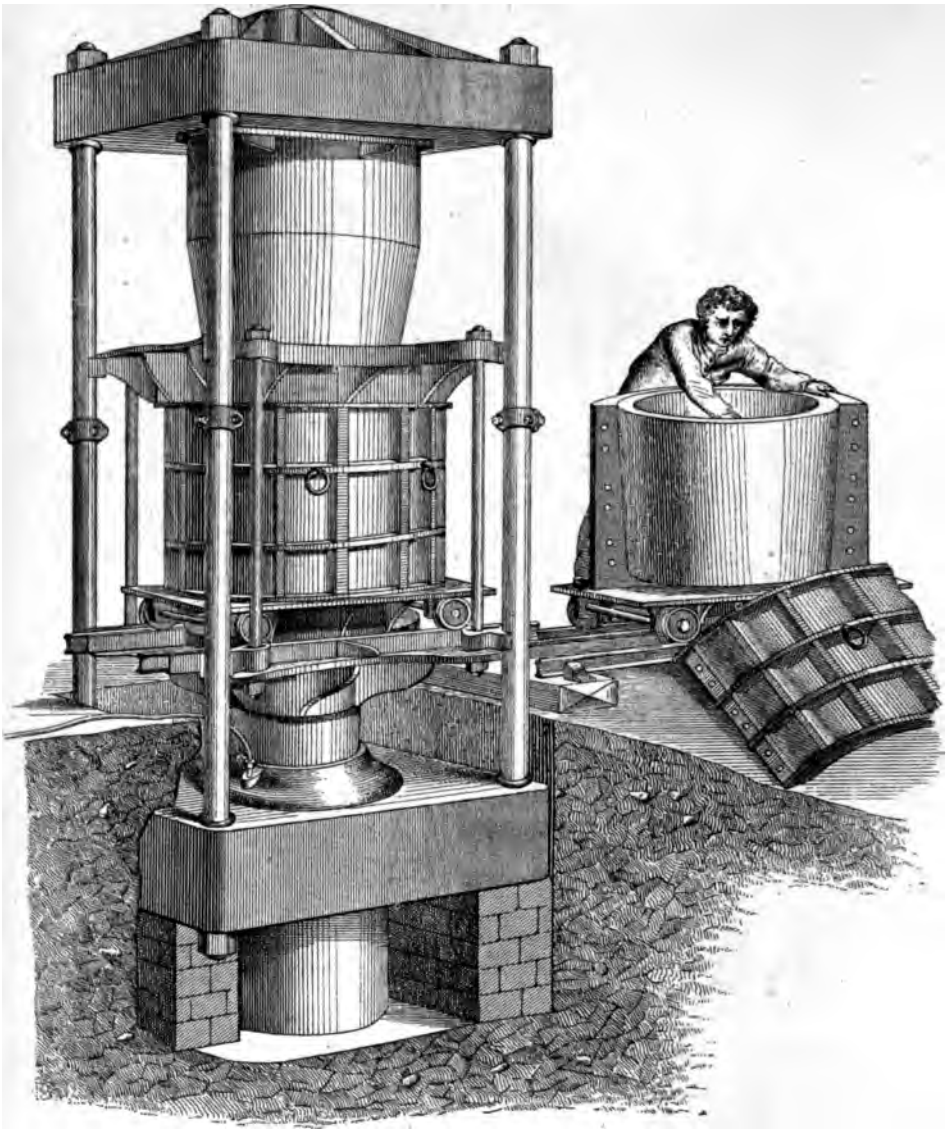


221. Kleine Hafenpresse nach Simons.

in dreiteiliger Form gebaut worden, der den Anforderungen genügte, welche man an Häfen stellte, um gutes Glas erzielen zu können. Diese Häfen arbeiten bei genügend heißem Ofengang vorzüglich, so daß selbst farbige Gläser mit denselben hergestellt werden können. Siemens machte sich den Umstand zu nutze, daß das geschmolzene Glas stets spezifisch schwerer wird, und legte den kontinuierlichen Hafen, wie folgt, an (Abb. 215—220). In den Schmelzraum A wird beständig neues Gemenge eingelegt, so daß es auf dem schmelzenden Glase hochsteht. Das geschmolzene Glas sinkt im Schmelzraum zu Boden, tritt dann durch ein Loch, das sich wenig über dem Boden befindet, in den vertikalen Kanal D und durch diesen oben in den Läuterungsraum B, in welchem es dann mit zunehmender Reinheit untersinkt, worauf es durch das Loch b schließlich in den dritten, verdeckten Raum C gelangt, aus welchem es ausgearbeitet werden kann.

In Deutschland werden die Häfen fast noch durchweg auf den Hütten selbst gefertigt, während in Amerika und teilweise auch in Österreich von vielen Glashütten die Häfen fertig bezogen werden.

Von den Maschinen, die zum Pressen der Häfen in Vorschlag und zur Anwendung gebracht sind, sind die von Simons konstruierten Maschinen ohne Frage die besten.

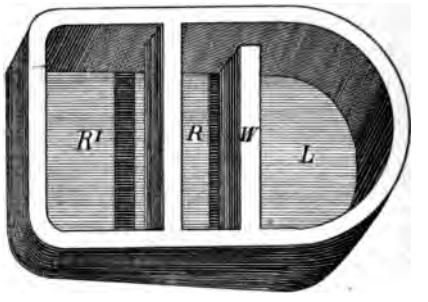


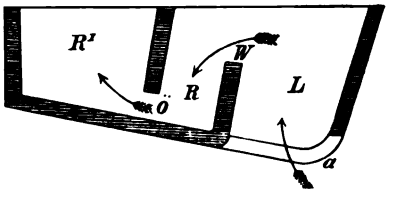
222. Große Hafenpreſſe nach Simons.

Simons hat zwei verſchiedene Preſſen konſtruiert, von denen die eine für kleinere Häfen, Schmelztiegel und Kapſeln, die andere größere zur Fabrikation von größeren Glashäfen, Zink- und Gasretorten gebraucht wird. Abb. 221 ſtellt die kleine Hafenpreſſe von Simons dar. Auf dem feſten Tiſche ſteht die gußeiſerne Form, auf welcher ein beweglicher Ring aufgelegt und damit feſt verbunden iſt. Dieſer Ring ſteht ſo viel über den inneren Rand der Form vor, als die innere Wandſtärke des herzuſtellenden Gefäßes betragen ſoll. Der Thonklumpen wird — ſo wie er aus dem Thonſchneider kommt — in die aufſtehende Form geworfen, der Preßkolben wird nun kräftig nach unten gedrückt — bei kleineren Maſchinen mittels einer Schraube durch die Hand, bei der größeren mittels Waſſerdruck — und der Thon fällt dann durch den zwiſchen Form und Preßkolben frei bleibenden Raum. In dem Augenblick nun, in welchem die Thonmaſſe an den vorſpringenden Deckelring ſtößt, erfolgt in der ganzen Maſſe ein gleichmäßiger

Druck. Zwischen Preßkolben und Deckelring wird ein kleiner Spalt gelassen, durch welchen die Luft und ein etwaiger Überschuß von Thon entweichen können. Damit beim Zurückziehen des Kolbens der Thon nicht an diesem kleben bleibt, ist der Kolben mit Luftlöchern versehen, und diese sind gegen Eindringen von Thon während der Pressung durch eine Zinkblechplatte geschlossen, welche vor dem Pressen auf den Thonklumpen aufgelegt und nachher aus dem fertigen Gefäß herausgenommen wird. Das Gefäß wird dadurch aus der Form entfernt, daß dieselbe auf ein Geleise von Winkeleisen gezogen wird, zwischen welchen das Objekt nach unten hinausrutscht auf ein untergehaltenes Brett, auf welchem es nun in den Trockenraum gebracht wird. Die Leistungsfähigkeit der Maschinen ist 3—4 Häfen pro Stunde. Vorzüge der maschinellen Fabrikation der Häfen sollen sein: Große und billige Produktion, Verwendung sehr trockener und grobkörniger Masse, große Haltbarkeit der hergestellten Gefäße.

Das Trocknen der auf die eine oder andere Weise hergestellten Häfen erfordert sehr viel Aufmerksamkeit. Wegen der Ungleichheit der Wandstärke zwischen Boden und Seiten der Häfen neigt die Masse dazu, am Boden rissig zu werden, wenn die Trocknung nicht ganz allmählich vor sich geht und die Häfen vor Temperaturwechsel und Zug nicht geschützt werden. Das Trocknen erfolgt zweckmäßig bei sehr niederer Temperatur, die ganz allmählich alle fünf Tage um einen Grad gesteigert wird, bis schließlich nach 4 Monaten die Temperatur auf 40° C. gestiegen ist. Die Feuchtigkeit in dem Trockenraume wird zweckmäßig mittels eines Haarhygrometers festgestellt. Stellt sich dabei heraus, daß die Feuchtigkeit im Trockenraum eine zu große ist, so wird für Luftwechsel gesorgt. Nach etwa vier Wochen sind die Häfen so weit abgetrocknet, daß man sie ohne Gefahr umkehren kann; man thut dies, so daß der Boden nach oben gerichtet ist.





223 u. 224. Raffinierieschiffchen.

Aus diesem Glashafenthone, der zum Bau benutzt worden ist, fertigt man auch die Ringe und Klammern. Die Ringe oder Scheiben werden auf das geschmolzene Glas gelegt, um während des Blasens die Glasoberfläche innerhalb derselben stets rein zu halten. Die Klammern sind umgebogene Thonstreifen, deren langer Schenkel etwa 20 cm Höhe hat bei einer Breite von 6—8 cm und 2 cm Stärke. Sie dienen dazu, sonst brauchbare Häfen, die am oberen Rande einen Sprung erhalten haben, durch eine solche Klemme noch weiter für den Gebrauch geeignet zu machen. Der Hafenmacher nimmt die Klemme auf eine eiserne Zange und wärmt sie sehr vorsichtig in einem Kühlofen an. Dann wird der Riß im Hafen so zugedeckt, daß der lange Schenkel an die innere Seite des Hafens sich fest anschmiegt und den Riß vollständig deckt. Die Klammer verbindet sich fest mit dem Hafen und verhindert ein Weiterschreiten des Risses, so daß der Hafen wieder benutzt werden kann. Beim Betriebe mittels Wannenöfen werden die dabei gebrauchten Raffinierieschiffchen ebenfalls aus Hafenmasse hergestellt. Diese Schiffchen sind in der Regel 1 m lang, 0,5 m breit und 0,25 m tief und schwimmen vor den Arbeitslöchern auf dem Glase, schöpfen durch Öffnungen a Glas aus den Wannen in den Raum L; alsdann fließt die Glasmasse über die Querwand W in den Raum R, wobei sie der Läuterung unterworfen wird, um sodann durch die Öffnung Ö in den Raum R' zu fließen, von wo sie vom Glasmacher entnommen wird.

Ehe die Häfen in den Ofen gebracht werden, um die Glasmasse in sich aufzunehmen, ist es zweckmäßig, dieselben auf die Temperatur des Schmelzofens zu erhitzen. Dieses Anwärmen geschieht in dem Temperofen, einem Flammofen, der in der Regel mit

dem Schmelzofen verbunden iſt und durch die aus letzterem abgehende Wärme erhitzt wird. Der Ofen beſteht im Inneren aus einem Futter von feuerfeſten Steinen, die mit gewöhnlichen Ziegeln umgeben ſind. Die Größe der Temperöfen iſt verſchieden; ſie faſſen je nach Bedarf 2—6 Häfen. Die Häfen werden im Temperofen auf Backſteine geſetzt, die auf die hohe Kante geſtellt ſind. Alsdann werden die Ofeneingänge mit Thonplatten verſetzt und zwar ſo, daß im oberen Teile des Einganges eine Öffnung gelaſſen wird, die der Flamme und dem Rauch geſtattet abzuziehen. Iſt der Ofen ſo hergerichtet, ſo läßt man die Flamme durch Öffnen des Fuchſes zum Schmelzofen nach und nach eintreten, wodurch der Ofen allmählich angewärmt wird. Iſt nun Rotglut eingetreten, ſo öffnet man den Fuchs ganz und ſteigert durch ein Holz- und Steinkohlenfeuer die Hitze im Temperofen bis auf die Temperatur des Schmelzofens.

Glasſchmelzöfen.

Der Schmelzofen ſetzt ſich zuſammen aus dem Fundament, den Umfaſſungsmauern, den Bänken, dem Mantel der Feuerung, den Gewölbekappen und dem Schornſtein. Die geringſte Hitze haben das Fundament und die Umfaſſungsmauern auszuhalten. Dieſe Teile werden daher in der Regel aus gewöhnlichen Ziegeln hergeſtellt. Die übrigen Teile, welche der Schmelzhitze ausgeſetzt ſind, oder unter den alkaliſchen Dämpfen zu leiden haben, werden aus guten feuerfeſten Materialien gebaut. Kleinere Hütten beziehen dieſelben aus Chamottefabriken; in größeren Betrieben dagegen werden die zum Bau der Öfen verwandten Steine ſelbſt hergeſtellt.

225. Alter Glasſchmelzofen.

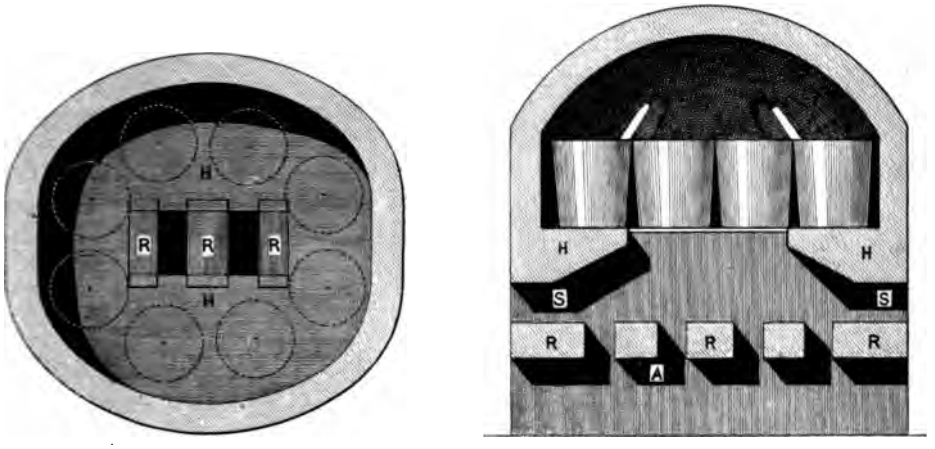
Je nachdem die Steine im Ofen angeordnet ſind, unterſcheidet man: Pfeilerſteine, Kappenſteine, Feuerungsſteine, Vorſatz-, Gewölbe- oder Arkadenſteine, einfache Kappen- und Gewölbeſteine, Quadratſteine u. ſ. w. bis zu den gewöhnlichſten Chamotte- und Ziegelſteinen. Zur Herſtellung der Steine werden hölzerne Formen gebraucht, die ſich auseinander nehmen laſſen, ſo daß man den fertigen Stein herausnehmen kann. Die Form wird mit Waſſer befeuchtet, mit Sand ausgeſtreut und auf ein mit grober Chamotte beſtreutes Brett gelegt. In dieſe Form wird die mit Chamotte in beſtimmten Mengen je nach der Beſchaffenheit des verarbeiteten Thones verſetzte Thonmaſſe eingeſchlagen, gut eingeſtampft und mit einem Schlegel feſtgeſchlagen. Die überflüſſige Maſſe wird abgeſtrichen und die Oberfläche mittels eines kellenähnlichen Inſtrumentes glatt geſtrichen. Nachdem der Stein in der Form einige Zeit geſtanden hat, löſt man letztere durch Auseinandernehmen von dem geformten Steine. Um die Steine möglichſt dicht zu erhalten, werden dieſelben häufig mit einer Maſchine nachgepreßt.

Hauptſächlich zur Herſtellung der Bänke für den Glashafenbetrieb und zum Bau der Ofenſohle für den Wannenbetrieb, ſowie für die Gewölbe werden die ſogenannten Dinasſteine gebraucht. Die Dinasſteine ſind Materialien, die in der Regel aus 97—98 % Quarz und 2—1 % Kalkerde beſtehen neben geringen Mengen von Thonerde und Eiſenoxyd. Zur Fabrikation derſelben wird der Quarz zerkleinert und das gröbere und feinere Quarzpulver in beſonders dazu hergerichteten und mit Eiſenblech ausgelegten Räumen ausgebreitet. Man läßt nun zu einer beſtimmten Menge des Quarzpulvers eine ſolche Menge Kalkmilch oder mit Waſſer angerührten dünnen Gipsbrei fließen, daß der Gehalt an Kalkerde etwa 1—2 % beträgt, und ſchaufelt die Menge verſchiedene Male um. Der mit Kalkmilch oder Gips angemachte Quarz wird dann in eiſerne Formen geſchlagen, in den Arbeitsräumen getrocknet und alsdann gebrannt. Die Brenndauer beträgt 3—7 Tage, und die ſtärkſte Hitze iſt beim Brennen der Dinasſteine erforderlich, um dem Quarz das Wachſen im Feuer bei ſpäterer Vermauerung möglichſt zu benehmen. Von guten Dinasſteinen verlangt man genügende Feuerfeſtigkeit, und zwar ſoll der Schmelzpunkt nicht

erheblich unter Segerkegel 35 liegen, gute Festigkeit und eine nicht zu große Ausdehnung im Feuer. Die lineare Ausdehnung soll unter 2% betragen.

Was die Brennmaterialien betrifft, so kommt es für die Glasfabrikation darauf an, daß dieselben neben einer hohen Heizkraft eine reine und lange Flamme besitzen. In dieser Beziehung steht unter den festen Brennstoffen das Holz obenan, dann kommen stückige Braunkohlen und fette Steinkohlen; erdige Braunkohlen und magere Steinkohlen sind von ganz geringem Wert, während Anthracit unbrauchbar erscheint. Die Anzahl der Brennstoffe, die sich im Glasofen benutzen ließen, war daher nicht groß, und früher war der einzige in der Glasfabrikation verwandte das Holz, das in gewissen Gegenden, so z. B. in Pommern, noch jetzt fast ausschließlich benutzt wird. Im allgemeinen aber hat das Holz seine ehemalige große Bedeutung schon längst verloren und würde für größere Betriebe ein so teures Brennmaterial sein, daß diese mit den anderen nicht in Wettbewerb treten könnten.

Über die Einrichtung der ältesten Öfen mit Holzheizung ist fast nichts bekannt. Die erste Aufzeichnung ist von Theophilus Presbyter hinterlassen. Nach dieser hatte der Ofen einen oblongen Bau und bestand aus einem größeren Schmelzraume mit 4 Häfen und 2 Schüröffnungen, sowie einem durch eine Mauer von dem Schmelzraume getrennten Frittraum.



226 u. 227. Ofen für Holzheizung mit Rost.

Die Feuerungen sind sehr unvollkommen und werden gebildet durch große weite Räume unterhalb des Schmelzraumes, auf dessen flacher, nicht durchbrochener Sohle große Mengen Holz nur unvollkommen verbrennen und unter starker Rauchentwickelung keine hohe Temperatur liefern. Nach Agricola waren die Öfen aus Thon gebaut und hatten die Gestalt eines stumpfen Kegels von etwa 4 Meter Höhe. Diese Öfen bestanden aus drei übereinander liegenden Räumen, von denen der unterste größte als Heizraum diente; der mittlere war der Schmelzraum und der oberste der Kühlraum. In der Bodenmitte der ersten und zweiten Etage waren große Durchschnitte zum Eintreten der Flammen geschaffen. Je nach der Zahl der im Ofen aufzustellenden Häfen waren im Ofenmantel Öffnungen angebracht, welche nach dem Einsetzen der Häfen durch Formsteine verschlossen wurden bis auf eine kleine Öffnung, das Arbeitsloch. Im Kühlraum wurden die fertigen Waren in thönernen Muffeln aufgestellt. Besondere Zugvorrichtungen waren nicht vorhanden, der Luftzug wurde durch den Abstand des Schmelzraumes von der Heizung hervorgerufen; der Rauch trat durch die Arbeitslöcher aus.

Mit der Zeit wurden diese Öfen allmählich verbessert, und es entstanden solche, bei denen man die Feuerung mit einem Roste versah, wodurch man auch sehr bald auf den Gedanken kam, das Holz durch die Steinkohle zu ersetzen. Diese Öfen waren ehemals sehr verbreitet, besonders in Böhmen. Sie haben eine kreisförmige Gestalt, die Länge beträgt $2\frac{1}{2}$—3 m. Über dem Fundament erheben sich die Hafenbänke H, H, zwischen denen

die Roststeine R eingefügt sind. Dadurch wird der freie Raum in zwei Teile geteilt, von denen der untere Raum der Luftkanal und Aschenfall A ist, seine Höhe beträgt 1/9 m, seine Breite 40 m. Zwischen den Roststäben bleibt ein beträchtlicher Raum frei, durch welchen der Luftzutritt möglich wird. Der Unterbau der Bank findet über der Schürgrube S seine Fortsetzung und geht durch einen Gewölbebogen in die um den ganzen Ofen herumgehende Bank über. Auf der Hafenbank finden 8 Häfen Aufstellung. Kappe und Hauptgewölbe bestehen ebenfalls aus geschlagenem Thon. In jedem Hafen konnten etwa 200 kg Glas geschmolzen werden, und ein solcher Ofen erforderte für die Schmelze 24 Stunden, wobei 7000 kg Holz verbraucht wurden. Zur Feuerung wurden, wenn angängig, weiche harzreiche Holzarten gewählt, um große Flammen zu erzielen. Aber auch andere Holzarten konnten in ganzen Scheiten verwendet werden. Das Holz wurde möglichst trocken verbraucht und zu diesem Zwecke vorher trocken gedörrt, wozu man den oberen Teil des Ofens oder einen besonderen Ofen benutzte. Ihre Vorzüge waren starke Flammbarkeit bei wenig Rauch und Benachteiligung durch Flugasche, sowie Billigkeit und Einfachheit der Anlage. Das Brennmaterial ist jedoch für die meisten Gegenden zu kostspielig, und es sind daher diese Öfen nur in sehr waldreichen Gegenden, wie im Thüringer Walde, in Pommern, im Böhmer Walde und Steiermark zu finden.

Die Einführung der Öfen mit Kohlenfeuerung ging von England aus. Dort hatte Manfell bereits 1635 mit Steinkohle anstatt mit Holz zu schmelzen begonnen, indem er zum Schutz des Glases gegen Verunreinigung durch den Kohlenruß bedeckte Tiegel anwandte. Der Umstand, daß man in diesen nicht die zum Läutern erforderliche Temperatur zu erzeugen vermochte, gab Veranlassung, daß man durch Einführung des Bleioxyds das Glas leichter schmelzbar zu machen suchte. In Deutschland fand die Heizung mit Steinkohle, Braunkohle und Torf erst Anfang des 19. Jahrhunderts allmählich Eingang. Von großer Wichtigkeit für die Öfen mit Kohlenfeuerung ist die zweckmäßige Anlage der Feuerung, und namentlich für den Rost müssen die richtigen Dimensionen gewählt werden. Unter dem Rost läßt man einen größeren Raum frei, um einen starken Luftzug hervorzubringen, welcher noch verstärkt wird durch das Anbringen von Schornsteinen. Oft umgibt man noch den ganzen Ofen mit einem kegelförmigen Mantel, der — an der Spitze offen — das Aufsteigen der erwärmten Luft herbeiführt und dadurch den Zug vermehrt.

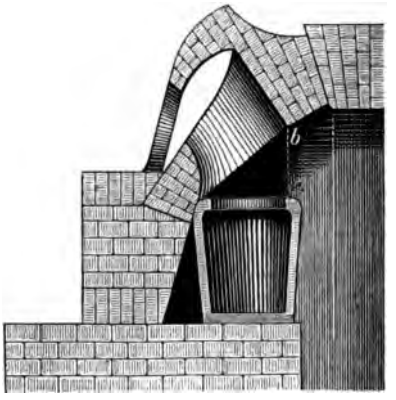
228. Ofen für Kohlenfeuerung.

Als Beispiel für einen runden Ofen für Tafelglas mit Nebenöfen und Kohlenfeuerung sei folgender kurz beschrieben: Der abgebildete Ofen ist für 8 Häfen bestimmt, und in demselben können etwa 1500 kg Tafelglas geschmolzen werden. Der Steinkohlenverbrauch beträgt in 24 Stunden 1500 kg. Dem eigentlichen Ofen sind 4 Nebenöfen angeordnet; diese werden zum Glühen der verschiedenen Materialien gebraucht und dienen zum Anwärmen der Häfen, sowie event. als Luftöfen zum Abkühlen der gefertigten Glaswaren. Der Aschenfall R ist ziemlich hoch, und über diesem, der zugleich Zugkanal ist, liegt der Rost R'. Über die Treppe T gelangt man in den Vorofen O und von hier aus zu den mit Formsteinen verstellbaren Schürlöchern S S. Die Höhe der Brücken für Öfen mit Steinkohlenfeuerung richtet sich nach dem Brennmaterial. Für kurzflammige Kohle genügt eine Bankhöhe von 0,5 bis 0,8 m; für langflammige Kohle werden die Brücken so hoch wie die Häfen gemacht. Das Gewölbe des Vorofens und eigentlichen Ofens bilden verengte Kanäle, durch welche die Flammen in die Glüh- und Anwärmeöfen A A streichen. U ist die äußere Umkleidung des Gewölbes. Vielfach ist die Ein-

richtung getroffen, durch zwei Feuerungen, die in der Mitte zusammenstoßen, den Ofen zu beschicken.

Bei den obenbesprochenen Öfen wird dort, wo die Flamme in den Schmelzraum tritt, nicht der ganze Raum mit Häfen besetzt, sondern man läßt an zwei Stellen Platz, um den Flammen Gelegenheit zu geben, in die Nebenöfen zu spielen. Beim Einsetzen der Häfen in den Schmelzraum wird ein Arbeitsloch so weit vergrößert, daß der Hafen hindurch geht. Soll ein schadhafter Hafen entfernt werden, so zerschlägt man denselben, stürzt die Scherben in das Feuerloch und entfernt diese durch die Schürlöcher.

Ähnliche Öfen werden auch in viereckiger Form gebaut. Sie haben nicht so lange Schürgewölbe und weniger hohe Bänke als runde und ovale Öfen, und zwar aus dem Grunde, weil bei ihnen die Schürgewölbe nicht durch die Häfen belastet werden. Die Schürgewölbe leiden also bei den runden und ovalen Öfen mehr durch Druck, verschüttetes Glas und Hitze als bei den viereckigen. Bei letzteren umspült die Flamme die niedrigstehenden Häfen vollständig, welche zweimal von der Flamme getroffen werden, während bei runden und ovalen Öfen nur dann die Häfen von der Flamme getroffen werden, wenn sich diese an der Decke bricht. Es hat sich als sehr zweckmäßig herausgestellt — falls nur eine bestimmte Glassorte geschmolzen wird — die Anzahl der Häfen zu verringern und statt etwa 8 kleine 4—6 größere Häfen hinzustellen; das Brennmaterial wird alsdann besser ausgenutzt, da ein großer Hafen weniger Platz erfordert als zwei kleinere. Sollen in einem Ofen mehrere Glassorten hergestellt werden, so ist es vorteilhaft, einmal die eine und dann die andere Glassorte bei der folgenden Schmelze herzustellen, denn bei gleichzeitiger Schmelzung verschiedener Sorten stellen sich viele Unzulänglichkeiten heraus, weil jede Sorte eine verschiedene Schmelzdauer und auch andere Hitzegrade für die Läuterung beansprucht.



229. Ofengewölbe nach Kirn.

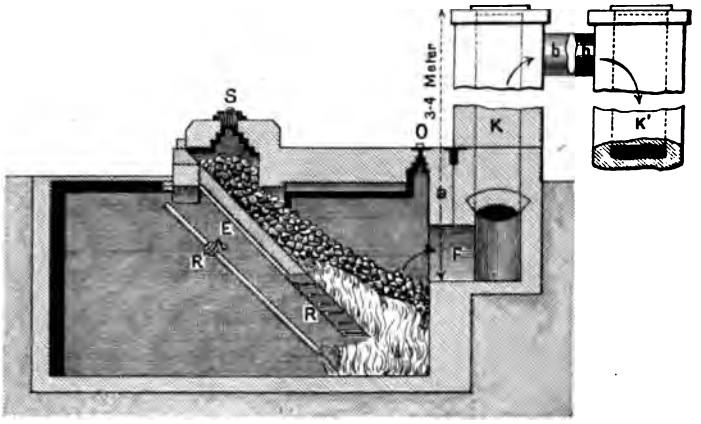
Die Öfen mit direkter Feuerung haben alle den Übelstand, daß sich die verflüchtigenden Alkalien an der Decke ansammeln und nicht nur zerstörend auf die Ofenteile einwirken, sondern auch die Glasmasse dadurch verunreinigen, daß sie sich mit Kieselsäure und Thonerde der Ofenteile verbinden und als Silikate in den Hafen gelangen. Zur Verhütung von Verunreinigung ist von Kirn das Gewölbe abzuändern empfohlen. Die Abänderung besteht in folgendem: Er vergrößert das über den Häfen stehende Arbeitsloch, indem er es nach innen zu konisch erweitert, und zwar um so viel, daß der Durchmesser des Arbeitsloches ebenso groß wird, wie der des oberen Hafenrandes. Die an der Decke ablaufende Masse ist gezwungen, an der scharfen Kante b abzutropfen, und kann, da die Tropfen senkrecht zu der punktierten Linie abfallen, nicht die Glasmasse im Hafen treffen (Abb. 229).

Bei allen Öfen gibt man zweckmäßig der Brücke nach der Seite der Brustmauer eine schwache Neigung. Dies hat den Zweck, zu verhüten, daß das auslaufende Glas in den Herd fließt. Das Glas frißt früher oder später die Bänke an. Infolge der größeren Hitze an der Grube — im Vergleich zu der an der Brustmauer — würden die Ränder der Brücke sich in verhältnismäßig kurzer Zeit abflachen und bald eine Neigung gegen den Herd zeigen, so daß das nun nach innen tretende Herdglas an den heißen Stellen um so zerstörender auftreten könnte. Bei einer Neigung der Bank nach außen fließt das Herdglas beständig gegen die kältesten Teile des Ofens an der Ringmauer und kann hier durch die Glutlöcher entfernt werden. Dieses Herdglas wird in den seltensten Fällen, da es stark verunreinigt ist, wieder in die Häfen gethan, sondern dasselbe wird vielfach gesammelt und als „Herdglas“ (Abfallglas) an gewisse keramische Fabriken verkauft, so z. B. an Plattenfabriken, die ihren Thonmaterialien ein billiges Flußmittel hinzusetzen müssen.

Die Breite der Bänke richtet sich nach der Größe der Häfen; dieselbe muß so gewählt werden, daß die Böden der Häfen, wenn diese an ihrer Stelle stehen, die Mitte der Bänke einnehmen und ihre Schnauzen die Arbeitsöffnung erreichen. Es empfiehlt sich, die Bänke in der Mitte des Ofens um etwa 2,5 cm breiter zu machen, als neben den Schürgewölben. Vorteilhaft ist es, an den Öfen Vorrichtungen anzubringen, welche gestatten, auch oberhalb des Rostes Luft in die Grube einführen zu können. Dieses erreicht man durch Anbringung von Luftzügen in den Bänken, wobei man die Luft entweder dem Aschenfalle oder dem Inneren des Hüttengebäudes entnimmt.

Sämtliche Ofenkonstruktionen mit direkter Feuerung besprechen zu wollen, würde uns zu weit führen, zumal da diese Öfen mehr und mehr verschwinden und man heute auch auf den kleinsten Hütten Öfen mit indirekter Feuerung baut und benutzt. Durch Einführung der Öfen mit indirekter Feuerung (Gas-Feuerung) ist der Glasindustrie ein wesentlicher Dienst geleistet, ja man kann sagen, es ist dadurch eine neue Ära für die Glasindustrie begründet worden.

Das Wesen der Gasheizung beruht in einer Vergasung der Brennmaterialien. Indem man den Luftzutritt nur in beschränktem Maße gestattet, findet nur eine teilweise Verbrennung der Brennmaterialien an der Oberfläche statt, wobei durch die entstehende Wärme auch die innere Masse des Brennstoffes zersetzt wird. Diese Zersetzungsprodukte sind gasförmig. Werden die Gase in einen Ofen geleitet und dort mit atmosphärischer Luft zusammengebracht, so entzünden sie sich und verbrennen unter lebhafter Wärmeentwickelung. Die Zusammensetzung und der Heizwert dieser Gase ist abhängig von der Beschaffenheit der Brennmaterialien und der Temperatur im Generator. Im wesentlichen bestehen sie aus Kohlenoxydgas und Kohlenwasserstoffen. Holzkohle und Koks geben nur geringe Mengen an Kohlenwasserstoffen; Stein- und Braunkohlen sowie Holz liefern dagegen erhebliche Mengen von Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen. Diese erhöhen die Heizkraft der Gase ungemein. Um die Bildung dieser Gase zu ermöglichen, leitet man oft Wasserdampf über das glühende Brennmaterial. Ist die Temperatur bei der Zersetzung zu niedrig, so wird die Bildung von Kohlenoxydgas vermindert, was auch eintritt, wenn die Schichthöhe des Brennmaterials zu gering ist.



230. Generator.

Die ersten Versuche, die Gasheizung in die Glasindustrie einzuführen, fallen in die fünfziger Jahre; seit 1850 benutzte Fickentscher in Zwickau einen Gasofen mit in abgesondertem Generator erzeugtem Braunkohlengas. Doch erst mit der Erfindung des Regenerativgasofens von Siemens (Patent vom Jahre 1856) begann die Gasfeuerung ihren Siegeszug durch die Hütten. Man erhält dadurch nicht nur eine viel reinere, von Ruß- und Flugstaub freiere Flamme, die sich leicht regeln und von einer oxydierenden oder reduzierenden Wirkung freimachen läßt, sondern erzielt auch eine ganz bedeutende Ersparnis an Brennstoffen, ferner eine höhere Verbrennungstemperatur und kann zudem billige Brennstoffe, die sonst nicht zu verwenden sind (wie Braunkohlen und Torf), in vorteilhafter Weise zur Gaserzeugung verwerten.

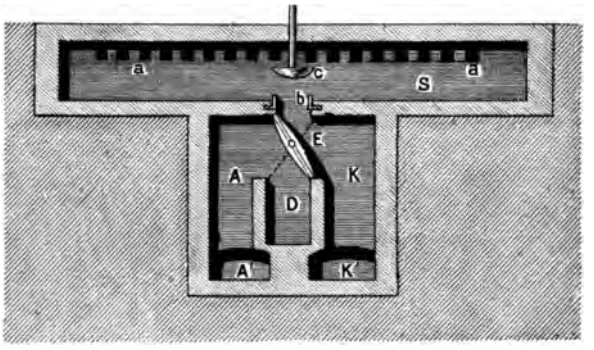
Die wesentlichen Teile des Siemensschen Gasofens sind: der Generator (d. h. Erzeuger, der Teil, wo die Gase erzeugt werden), die Regeneratoren, durch welche die

Wärme der den Ofen verlassenden Gase zum Vorwärmen des Heizgases und der Verbrennungsluft verwertet wird, und der eigentliche Ofen.

Der Generator befindet sich immer außerhalb des Ofens.

Die Einrichtung ist verschieden, je nach den Materialien, die zur Verwendung kommen. Er besteht aus einem aus Formsteinen gemauerten, schiefen Schacht S mit einem darübergestülpten, mit Wasser abgedichteten Eisendeckel, der die Schachtöffnung verschließt, durch welche das Brennmaterial eingebracht wird. Die Fortsetzung des Schachtes S bildet die mit feuerfestem Material abgefütterte schiefe Ebene E, deren Neigungswinkel je nach dem Feuerungsmaterial etwas verschieden ist. Von da gleitet das Material auf den Rost R, wo sich der Vergasungsprozeß vollzieht. Der unter dem Rost befindliche Raum ist zugänglich zur Abziehung von Asche und Schlacke. Gleichzeitig fließt durch das Rohr R' Wasser in ein Gefäß, welches am unteren Ende des Treppenrostes aufgestellt ist. Das Wasser verdampft hier und trägt somit zur Bildung von Kohlenwasserstoffen bei. — Die Anheizung des Generators geschieht, indem man glühende Kohlen einwirft und auf diese das Brennmaterial häuft. Das Nachfüllen geschieht alle 2—4 Stunden. Ein Schieber a dient zur Regulierung der Gaseinströmung.

Zur Erhaltung einer gleichmäßigen Schicht sind im oberen Teile des Generators kleine, verschließbare Öffnungen Ö angebracht, durch welche man Schürstangen einbringen kann. Die sich entwickelnden Gase treten durch den Fuchs F in den hohen Hauptkanal K und durch das seitlich angebrachte Rohr b in den zweiten Kanal K', welcher in seiner Verlängerung unten in eine Zisterne mündet. Durch diese Anordnung sollen die mit den Gasen aufsteigenden Teerdämpfe, welche die Rohrleitungen leicht verstopfen könnten, verdichtet werden; die Absicht wird bei dieser Anordnung vollkommen erreicht, indem die schweren, im Rohre K befindlichen, weniger erhitzten Gase saugend auf die unmittelbar aus dem Generator kommenden, noch hoch erhitzten Gase wirken.



231. Wechselklappe.

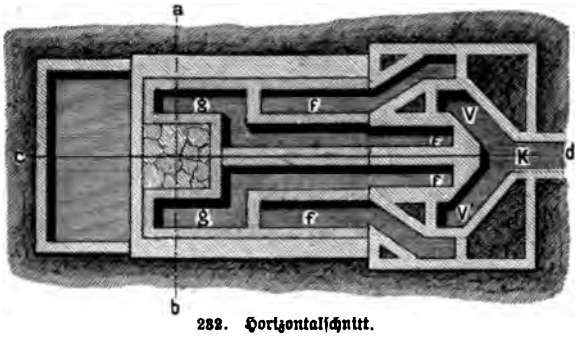
Die Generatoren für Holzfeuerung werden mit senkrecht aufsteigenden Wänden gebaut, doch sind sie sonst ähnlich eingerichtet.

Benrath hat die Siemensschen Heizgaserzeuger dadurch wesentlich verbessert, daß er die Teerdampf mitführenden Gase vor ihrem Austritt aus dem Generator durch eine Schicht glühender Kohlen leitet und nicht oben, sondern in der Nähe des Rostes zwingt, die glühenden Kohlen zu passieren. Hierbei erleiden die Teerdämpfe eine Zersetzung, deren Produkte die Generatorgase an Heizkraft bereichern.

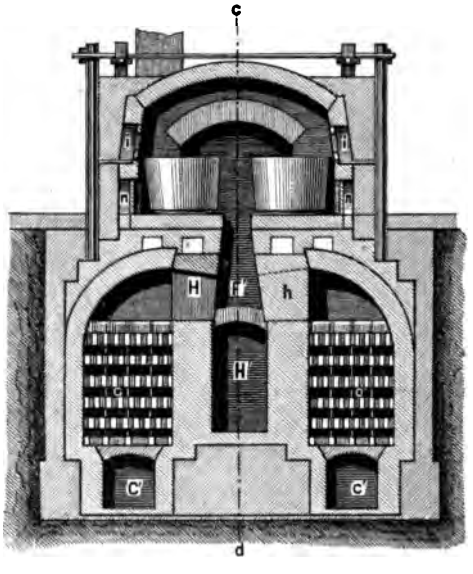
Zwischen dem Generator und Gaskanal des Generators, sowie zwischen Ofen und Luftkanal schaltet Siemens Wechselklappen ein, um den aus dem Generator abgehenden, im Ofen zur Verbrennung kommenden Gasen, sowie der zur Verbrennung derselben nötigen Luft eine wechselweise Zugrichtung geben zu können (vgl. Abb. 231).

In die angebrachte Steuervorrichtung tritt die Luft durch eine Anzahl kleiner, unter den Hafenbänken des Ofens befindlicher Kanäle a a in den Sammelkanal S. Der Raum K steht mit dem Kanal K' in Verbindung und führt nach der Luftkammer des ersten Regeneratorenpaares, und in gleicher Weise wird A mit A' verbunden und führt nach den Luftkammern des zweiten Regeneratorenpaares. Die in der Mitte liegende Kammer steht mit dem Schornstein in Verbindung. Die Richtung, welche der zuströmenden Luft erteilt wird, ist abhängig von der Stellung der Wechselklappe. Ist die Stellung der Klappe so wie in der Abbildung gezeichnet, so muß die bei S eintretende Luft durch die durch ein Schalterventil c absperrbare und zur Regulierung

der Lufteinſtrömung beſtimmte Öffnung b in den rechts gelegenen Raum K und von hier aus durch K' in die Luftkammer des erſten Regeneratorenpaares gelangen, wo ſie erhitzt wird und im erhitzten Zuſtande in den Ofen gelangt. Im Ofen bringt ſie die gleichzeitig aus dem Generator eingeleiteten Gaſe zum Verbrennen und tritt dann in die Luftkammer des zweiten Regeneratorenpaares, gibt dort ihre Wärme faſt vollſtändig ab und gelangt durch A' in die Kammer A und von hier in den zum Schornſtein führenden Kanal D. Die abgehende Luft gibt alſo ihre Wärme im zweiten Regeneratorenpaare vor dem Austritt ab.



232. Horizontalſchnitt.



233. Vertikalſchnitt.

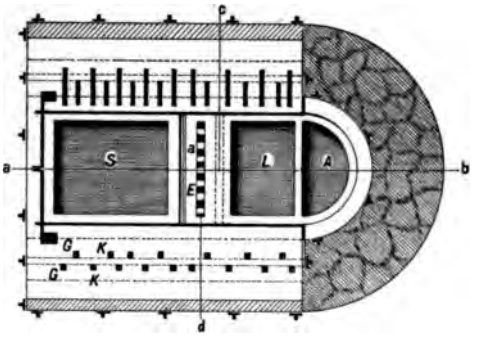
232 u. 233. Siemensſcher Glashafenofen.

Wenn nach einiger Zeit im zweiten Regeneratorenpaare genügend Wärme aufgeſpeichert iſt, ſo wird die Stellung der Klappe gewechſelt. Die von a kommende Luft geht nun in entgegengeſetzter Richtung durch A A' in die mit heißer Luft geſättigte Kammer des zweiten Regeneratorenpaares, wird hier erhitzt, geht in den Ofen, verbrennt die Gaſe und gelangt in die Luftkammer des erſten Regeneratorenpaares, gibt hier den größten Teil ihrer Wärme ab und entweicht erſt dann in den Schornſtein. Eben ſolche Wechſelklappen werden dem Gaskanal eingefügt, wodurch ebenfalls die Zugrichtung der Gaſe in die entgegengeſetzte verwandelt wird. In der Regel legt man die Wechſelklappen für Luft- und Gaskanal ſo nahe aneinander, daß die Umſtellung zugleich erfolgen kann, und zwar geſchieht dieſes etwa jede halbe Stunde.

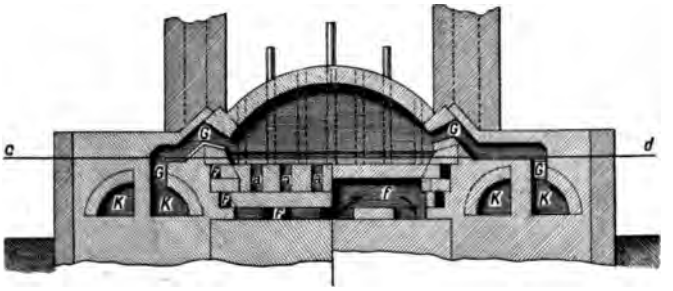
Die Regeneratoren ſind zwiſchen dem Schmelzraum des Ofens und den Wechſelklappen eingefügte große, aus feuerfeſtem Material hergeſtellte Räume, mit gitterförmig übereinander geſtellten Steinen ausgefüllt, welche mit den Kanälen A' K' in Verbindung ſtehen und oben in den Schmelzraum des Ofens münden. Man gibt denſelben einen Faſſungsraum von etwa 3 cbm, bei einem Kohlenverbrauch von 1000 kg in 24 Stunden. Hier geht die Übertragung der Wärme der verbrannten auf die zu verbrennenden Gaſe vor ſich, indem die abgehenden Gaſe das Gitterwerk der Regeneratoren wechſelweiſe durchſtrömen und hier ihre Wärme faſt vollſtändig abgeben, ſo daß die in den Schornſtein gelangenden Verbrennungsgaſe keine hohe Temperatur mehr beſitzen. Die dadurch erzielte Erſparnis an Brennmaterial iſt ſo groß, daß, während man z. B. früher für 100 kg Glas durchſchnittlich 800 kg Holz oder 300—400 kg Steinkohle brauchte, Siemens mit 100 kg Holz bezw. 50—68 kg Steinkohle oder 200 kg Torf bezw. böhmiſchen Braunkohlen auskommt.

Abb. 232 und 233 ſtellt den Siemensſchen Glashafenofen dar. K iſt der Kanal für die brennenden Gaſe zum Kamin, V die Verbindung des Kanals mit der Gaswechſelteilung, V' die Verbindung des Kanals mit der Luftwechſelteilung. Aus dem

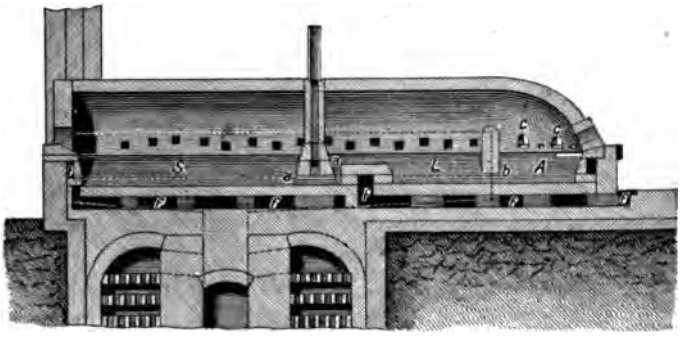
über V vom Generator kommenden Gaskanal gelangt je nach der Stellung der Klappe das Gas nach K (s. Abb. 231) oder in die auf derselben Seite nahe der Mittellinie c d liegende Kammer f; in derselben Anordnung liegen auf der anderen Seite die von den Luftkammern der Generatoren kommenden Züge, welche mit dem Arme V' in Verbindung stehen. Der eigentliche Ofen erhebt sich über dem helleren Teil der Zeichnung. Über A und A' liegt je ein Regenerator zur Gaserhitzung, über f' g ein Regenerator zur Lufterhitzung.



234. Horizontalschnitt.



235. Vertikalschnitt.



236. Vertikalschnitt.

234—236. Siemensscher Wannenofen.

Über den Kanälen C' c' erheben sich je ein paar Regeneratoren bis über die halbe Höhe des Ofens. Ist nun die Stellung der Wechselklappe eine solche, daß der Gas- und Luftstrom mit dem ersten Regeneratorenpaar in Verbindung steht, so steigt nun das Gas durch den Zug C' in dem Netzwerk des Regenerators G auf und gelangt durch den Hals H in den Feuerkanal F, die Luft aber geht durch c' in die Regeneratorenkammer d, durch den Hals h in den Kanal F. Wie aus den Abbildungen ersichtlich, tritt sowohl das Gas auf der einen Seite, als auch die Luft auf der anderen Seite in zwei Strömen aus. Die Stellung der vier Hälse H H' und h h' nebst den Ausführungskanälen A' a und a A' ist so geordnet, daß zwischen je zwei Luftausströmungskanälen je ein Gasausströmungskanal zu liegen kommt, so daß eine innige Mischung von Gas und Luft erreicht wird. Die Sohle des Schmelzraumes ruht auf den Überwölbungen der Regeneratoren, sie ist eben und dient zur Aufnahme der in zwei geraden Reihen stehenden Häfen. Unter der Sohle geht ein vierfaches Kanalsystem, welches, an der Außenseite des Ofens beginnend, durch die Mauerung sich horizontal hinzieht und in die an den Breitseiten des Ofens befindlichen Kamine K K' mündet; sein Zweck ist, innerhalb des Mauerwerkes eine Luftzirkulation zu erhalten und eine gleichmäßige Kühlung zu unterstützen. i i sind Arbeitslöcher, n n Aufbrechlöcher, die durch Vorsatzkuchen geschlossen werden.

Da besonders bei größeren Betrieben das Arbeiten mit Häfen oft seine Schwierigkeiten aufwies und der Hafenbetrieb immerhin ein ziemlich teurer ist, weil infolge der

Anordnung der Häfen ein im Verhältnis zur gewonnenen Glasmenge großer Schmelzraum erforderlich ist, der eine verhältnismäßig bedeutende Menge Brennstoff verbraucht, und außerdem die Herstellung und Erhaltung der Häfen mit erheblichen Kosten verbunden ist, auch die stets vorkommenden Brüche derselben Verluste an Glasmasse und Arbeit verursachen, so war man schon zeitig darauf bedacht, die Schmelzgefäße größer, dauerhafter und für kontinuierlichen Betrieb geeigneter herzustellen. Nach vielen vergeblichen Versuchen und Projekten gelang es schließlich ebenfalls Fr. Siemens 1870, einen brauchbaren Wannenofen für kontinuierlichen Betrieb für die Praxis in die Glasindustrie einzuführen. Damit erst ist diese zur Großindustrie geworden.

Der Siemenssche Wannenofen, ein Flammenofen, der seinen Namen von der wannenartigen Gestalt des Schmelzkörpers hat, entspricht in seinem Wesen dem dreiteiligen Hafenschmelzofen für kontinuierlichen Betrieb. So wie bei diesen sind auch im Wannenofen drei gesonderte Abteilungen vorhanden, in welchen das Glas in dünnen Lagen erhitzt, geschmolzen, geläutert wird, und dann zur Verarbeitung kommt. Durch das früher besprochene Kanalsystem wird das Glas vor der Ausarbeitung gekühlt. Ferner erzielt man durch diese Kühlung einen großen Vorteil, der viel zur Widerstandsfähigkeit der Wannen beiträgt. Jedes Material, auch das beste, wird nämlich durch die Glasmasse mehr oder weniger angegriffen; es entstehen leicht Risse, durch die die flüssige Glasmasse abfließen kann. Dieses Abfließen wird nun ebenfalls durch das erwähnte Kanalsystem verhindert. Sobald nämlich nun ein Riß in der Wanne entsteht, kommt die in dieselbe eindringende flüssige Glasmasse mit kalter Luft in Berührung; sofort erstarrt die Schmelze und dient somit selbst dazu, den entstandenen Riß zu verstopfen. Wannen, die einige Jahre im Gebrauch sind, erscheinen dann wie glasiert, sie sind mit einer schützenden Glasmasse umgeben, was den Vorteil mit sich bringt, daß die eingentliche Glasmasse gar nicht mit dem thonigen Material der Wanne in Berührung kommt. In dem Horizontalschnitt durch den Wannenofen (Abb. 234) sind die drei Abteilungen deutlich ersichtlich. S ist der Schmelzraum, hier wird das Glasgemenge zu Rohglas verschmolzen. L ist der Läuterraum, A der Raum, aus welchem gearbeitet wird. K K sind gas- und luftführende Kanäle, durch welche die Gase vermittelst der Gänge G G in das Innere des Ofens treten, wo sie zur Verbrennung kommen.

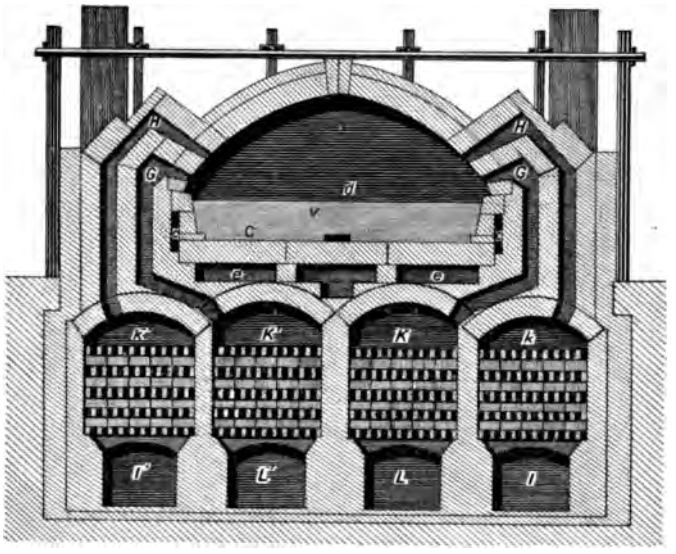
In den folgenden Abbildungen (235 u. 236) ist auch die Verbindung der einzelnen Kammern untereinander ersichtlich. Das Gemenge kommt durch die Öffnungen in den Schmelzraum; im weiteren steigt nun das Rohglas durch die Kanäle a a nach L und, indem es über die Brücke bei L strömt, in den Läuterraum. Hier erreicht die Glasmasse den höchsten Hitzegrad, da dieselbe durch die eingetragenen Rohmaterialien nicht mehr gekühlt wird. Die Glasmasse wird hier vollständig geläutert und geht dann durch einen Kanal b nach A. Der Arbeitsraum wird nicht mehr von den Flammen umspült, die Temperatur ist hier also geringer; das Glas wird infolgedessen zäher und kann nun durch die Arbeitslöcher c c ausgearbeitet werden. Die Regeneratoren liegen in der Längsrichtung des Ofens. Die Ausströmungsöffnungen der spezifisch schwereren Luft liegen höher als die des Gasstromes, damit eine ordentliche Mischung erreicht wird; sie sind etwas geneigt, damit die Flammen die Wannenflächen besser umspülen. f f sind Luftkanäle, die an den Seiten des Arbeitsraumes frische Luft empfangen und in die Kamine münden. Diese Öfen gestatten ein beständiges Arbeiten, nur muß die entsprechende Menge in den Schmelzraum eingetragen werden, welche aus dem Arbeitsraum genommen wird. Der Schmelzraum soll immer eine Schicht von 40—50 cm Glas enthalten, wobei dann das im Arbeitsraum gekühlte Glas 20—30 cm hoch steht.

Die Wannenöfen gebrauchen im Verhältnis weniger Brennmaterial als die Hafenöfen und sind besonders da geeignet, wo man stets eine und dieselbe Glassorte in größeren Mengen herstellt. Infolge ihrer Vorzüge sind sie jetzt sehr in Aufnahme gekommen und werden noch heute, vielfach verbessert, nicht nur für gewöhnliches Flaschenglas, sondern auch für feines Hohl- und Tafelglas benutzt.

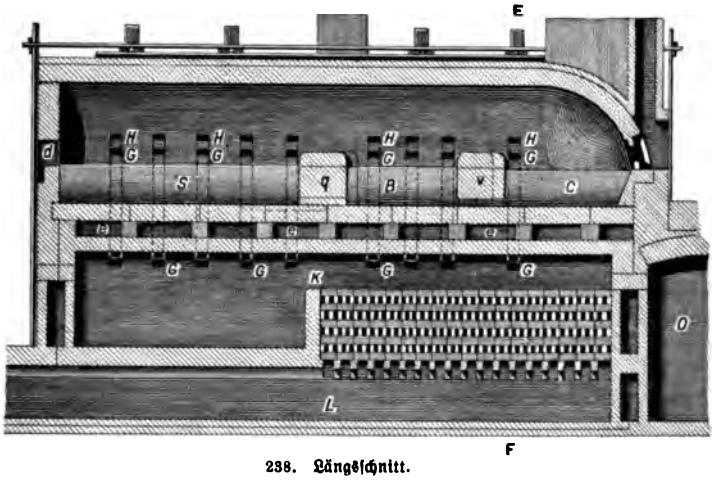
Aus nachfolgenden Zeichnungen (Abb. 237 u. 238) sind einige von Siemens getroffene Anordnungen ersichtlich. Der Ofen ist besonders durch eine andere Lage der Regeneratoren

charakterisiert; diese ziehen sich unter der ganzen Sohle des Ofens hin. Die Kammern K und k bilden das erste, wie die Kammern K' k' das zweite Generatorenpaar. In den Kammern K K' wird das Gas und in den Kammern k k' der Luftstrom erhitzt. Das Gas gelangt aus K K' durch die Kanäle G, die Luft k k' durch die Kanäle H durch die Ausströmungsöffnungen in den Ofen, wo die Verbrennung erfolgt.

Die Kammern K K' stehen durch die Leitungen L L' mit der Gaszuführungsklappe, die Kammern k k' durch die Leitungen l l' mit der Luftzuführungsklappe in Verbindung. Der Raum S ist der Schmelzraum, d ist das Eintrageloch, durch welches der Raum beschickt wird. Das Glas gelangt nun aus dem Schmelzraum durch kleine Kanäle, die nach oben gehen und sich in der Querwand q befinden, in den Läuterraum und von hier durch eine an der Sohle befindliche Öffnung in den Arbeitsraum, dessen Umfassungsmauern zehn Arbeitslöcher c enthalten. Die Luftkanäle e e besorgen die Kühlung der Wanne. Eine Neuerung hat Siemens bei den kontinuierlichen Wannenöfen angebracht, indem er die Querwände abschafft, dafür aber vor jedes Arbeitsloch ein aus feuerfestem Hafenmaterial gefertigtes Schiffchen (s. Abb. 239) anbringt, welches in der Glasmasse schwimmt und zur Läuterung des Glases dient.



237. Vertikalschnitt.



238. Längsschnitt.

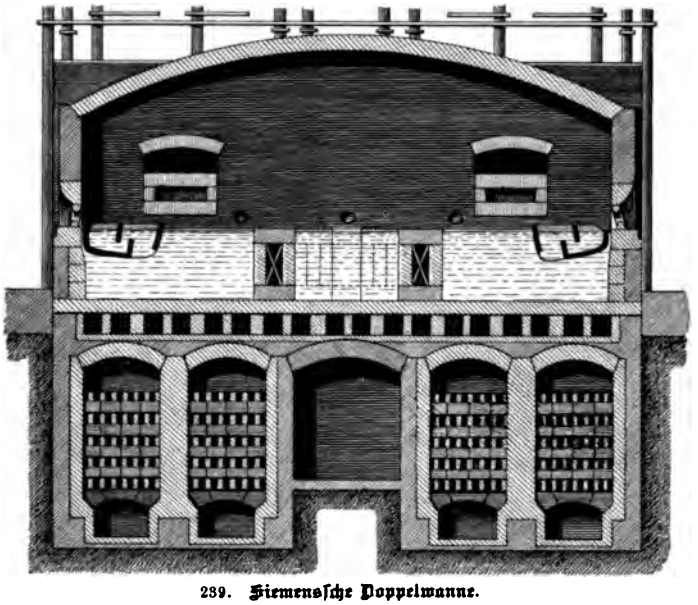
237 u. 238. Neuer Wannenofen von Siemens.

Der Wannenofen besitzt in der Regel drei Generatoren. Die Roste der Generatoren sind Treppenroste, die zu beiden Seiten der Feuermauer angebracht werden; dazwischen liegt ein Planrost. Die Größe der Rostfläche muß nach dem zu verwendenden Material bestimmt werden. Die Ofensohle soll zur Erzielung des nötigen Zuges 3—3 1/2 m über der Rostfläche stehen. Zur Hervorbringung des Zuges genügt für den Schmelzofen eine Kaminhöhe von 15 m. Die Weite der Regeneratorenkammern soll 2—3 cbm per 1000 kg in 24 Stunden verbrannte Kohle betragen.

Eine neue wichtige Erfindung von Fr. Siemens auf dem Gebiete des Wannenbetriebes ist das von ihm seit 1884 eingeführte Heizverfahren mit sogenannter freier

Flammentfaltung. Während man früher die Glasöfen möglichſt eng baute, um die Hitze zuſammenzuhalten, iſt bei dieſer Konſtruktion der Schmelzraum hoch, weit und breit gebaut. Die Gas- und Luftzuſtrömungsöffnungen ſind an beiden Stirnſeiten des Ofens angebracht, und dadurch wird eine ungeſtörte Flammentfaltung im Inneren des Glasſchmelzofens ermöglicht. Die Flamme durchſtreicht nun den Schmelzraum in der Richtung der Längsachſe. Die im Schmelzraum horizontal oberhalb der Arbeitslöcher durchſtrömende Flamme wirkt auf das Glas durch die ſtrahlende Wärme, ſo daß die Glasmacher nicht mehr durch die aus den Arbeitslöchern heraustretende Flamme zu leiden haben. Infolge dieſer neuen Heizmethode ſollen folgende Vorteile erreicht werden: 1. ſämtliche Ofenteile ſollen länger halten, 2. das Glas nimmt an Qualität zu, 3. die Verbrennung iſt die vollkommenſte, ſo daß Brennmaterial erſpart wird.

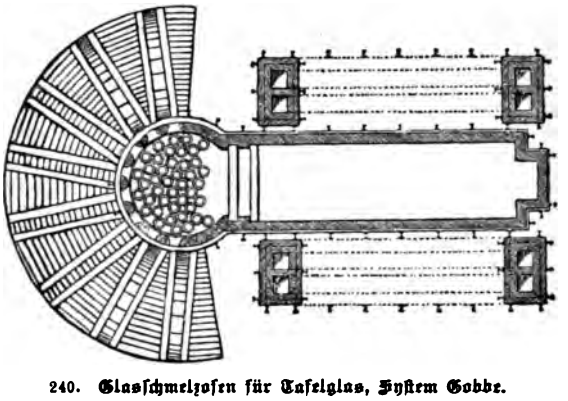
Nicht unerwähnt ſollen die Ofenkonſtruktionen von Nehſe und Nehſe-Klattenhoff bleiben. Dieſe Schmelzöfen gehören zu jener Klaſſe von Gasöfen, bei welchen unter Benutzung von Lufterhitzern (Rekuperatoren) eine Vorwärmung der Verbrennungsluft ſtattfindet — ähnlich wie bei den Boëtiusöfen, während das Heizgas unmittelbar aus dem Gaserzeuger in den Ofen geleitet wird. Dieſe Rekuperativöfen erfordern keine Umfeuerungsvorrichtungen und haben beſtändige Flammen, ein Umſtand, der zur Folge hat, daß für manche Zwecke Gasöfen mit beſtändiger Flamme den Siemensſchen Regenerativöfen vorgezogen werden.



239. Siemensſche Doppelwanne.

Beim Schmelzen der Glasrohmaterialien iſt es zuweilen erwünſcht, das Schmelzgut vor der direkten Einwirkung zu ſchützen, einerſeits um den Schmelzprozeß reiner zu geſtalten, anderſeits um das Schmelzgut an der Stelle der Ausarbeitung weniger heiß oder weniger flüſſig verarbeiten zu können. So iſt es beiſpielsweiſe zur Herſtellung eines möglichſt farbloſen Glaſes erforderlich, die den Glasmaterialien zugeſetzten Entfärbungsmittel vor der zu langen Einwirkung der unmittelbaren Flamme zu ſchützen; bisher geſchah dies bei der Glasfabrikation durch Anwendung von bedeckten Häfen. Will man aber ſolches Glas aus einer Wanne arbeiten, ſo iſt es geboten, Einrichtungen beim Schmelzofen zu treffen, um die zu lange Einwirkung der unmittelbaren Flamme auf das Schmelzgut zu verhindern, bezw. ganz aufzuheben. Mit Berückſichtigung dieſer Anforderung haben die um die Glasinduſtrie hochverdienten deutſchen Ingenieure Henning und Wrede in Dresden einen Wannenofen konſtruiert, bei welchem der Arbeitsraum völlig, der Schmelzraum teilweiſe überdeckt iſt (D. R.-P. 67505 und 71828). Dieſer Wannenofen hat ſich bereits in der Praxis gut bewährt, und das bei kontinuierlichen Betrieben erzeugte Glas entſpricht den an ein gutes Weißglas geſtellten Anforderungen. Der Kohlenverbrauch bei dieſem Weißglas-Wannenofen beträgt je nach der Qualität der Kohlen durchſchnittlich 1 kg pro 1 kg fertiges Glas. Ein weiterer Glasſchmelz-Wannenofen für Tafelglas iſt der ebenfalls von Henning & Wrede in Dresden ausgeführte Wannenofen nach Syſtem Gobbe. Dieſer in den meiſten Staaten patentierte Ofen hat

die besten Betriebsresultate aufzuweisen, hinsichtlich der Qualität des Glases, des Verbrauchs an Brennmaterial, der Aufgabe des Gemenges, der Haltbarkeit der Wanne, der Arbeit an der Wanne, der Bedienung der Wanne bei verhältnismäßig nicht hohen Baukosten einer Wannenanlage. Das in dem Gobbeschen Wannenofen erzeugte Glas ist vollständig rein und fehlerfrei und an Qualität besser als das in Hafenöfen hergestellte. Die Brennmaterialersparnis ist sehr bedeutend, sie beträgt erfahrungsgemäß 50 % und darüber gegenüber den Hafenöfen mit Gasfeuerung, und etwa 30 % gegenüber den gebräuchlichen Tafelglaswannen. Die Gobbesche Tafelglaswanne ist derart eingerichtet, daß das einzuführende Glasgemenge die Beschickungsöffnung abschließt, die Vorderwand des Ofens kühl erhält und die Bildung von Staub in der Wanne vermieden wird; man hat es also nie nötig, Einlegelöcher behufs Aufgabe neuen Gemenges zu öffnen. Schwimmende Wehre, die in ihrer ganzen Länge aus einem Stück bestehen und senkrecht beweglich sind, trennen den Arbeitsraum vom Schmelzraume der Wanne und haben den Zweck, die auf der Oberfläche des Glases schwimmenden ätzenden Unreinigkeiten zurückzuhalten und ihnen den Übertritt in den Arbeitsraum der Wanne zu wehren. Für die meisten Tafelglashüttenwerke, insbesondere für die deutschen und österreichischen Werke, ist diese Tafelglaswanne von großer Bedeutung, da deren Produktion der bisherigen Leistung von zwei Hafenöfen gleichkommt.



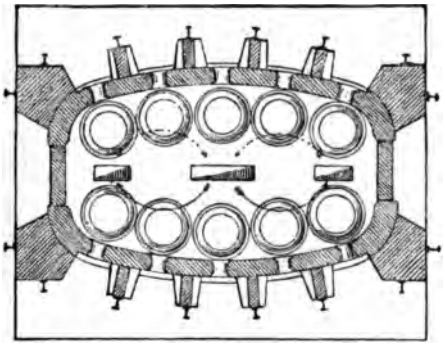
240. Glasschmelzofen für Tafelglas, System Gobbe.

Ein anderer guter neuer Ofen ist der Glasschmelz-Wannenofen für Flaschenglas von Henning & Wrede mit der doppel-U-förmigen Flamme (D.R.-P. 65738). Die Anwendung dieser Flammenführung hat den Zweck, die Wanne der ganzen Breite nach gehörig mit Flammen zu versehen, damit alle Arbeitsöffnungen an der Wanne gleichmäßig arbeiten können. Bei größeren Wannen mit einer Flamme ist dies nicht gut zu erreichen, da ja nach der Stellung der Wechselvorrichtungen jedesmal die eine Hälfte der Arbeitslöcher viel weniger Flamme erhält als die andere. Wird bei Flaschenglaswannen nicht die Gobbesche Anordnung der Beschickungsöffnung getroffen, so hat die Anordnung der doppel-U-förmigen Formen auch noch den Vorteil, daß bei der seitlichen Stellung der Flammen die Brenner bei der Aufgabe des Gemenges durch Gemengestaub nicht verunreinigt werden, daher eine längere Haltbarkeit haben. Der Kohlenverbrauch beträgt durchschnittlich ebenfalls 1 kg für 1 kg fertiges Glas. Die Ausnutzung der Brenngase ist also bei einer derartigen Anlage sehr vorteilhaft; zugleich findet eine absolut gleichmäßige Erwärmung aller Ofenteile statt. Diese Bedingungen werden bei den bekannten Glasschmelzöfen des Regenerativ-Systems zumeist nicht erfüllt, denn da, wo die einzige Flamme in den Ofen eintritt, ist immer eine höhere Temperatur vorhanden, als in dem Teile, wo dieselbe den Ofen wieder verläßt. Diese Temperatur-Differenz ist um so größer, je größer der Ofen ist. Bei dem Betriebe des Glasschmelzofens mit Doppelflamme werden diese Bedingungen erfahrungsgemäß in weit höherem Maße erfüllt, als mit den zur Zeit in der Glasindustrie gebräuchlichen Glasschmelzöfen.

Die Konstruktion dieses Regenerativ-Gasofens mit Doppelflamme ermöglicht auch die Herstellung sehr langer und doch sehr gut funktionierender Glasschmelz-Hafenöfen, wie solche sich in der Praxis bei Häfen mit 7,5 m Länge ganz vortrefflich bewährt haben. Bei solch großen Öfen verringern sich die Produktionskosten, und der Betrieb derselben gestaltet sich infolgedessen überaus günstig. Die horizontale Doppelflamme eignet sich besonders für sehr breite Ofenherde, bei welchen eine gleichmäßig verteilte Hitze erforderlich ist, wie bei Glasschmelz-Wannenöfen. Bei letzteren wird dann auch mit sicherem Erfolge

die horizontale Doppelflamme vielfach angewandt. Abb. 241 ſtellt einen Glasſchmelz-Hafenofen mit Doppelflamme von Henning & Wrede in Dresden (D. R.-P. 65738) dar. Der Gang des Ofens iſt folgender: Treten die Flammen aus der Mitte des Ofens in denſelben ein, ſo ziehen die Abgaſe durch die Abzüge links und rechts ab. Nach erfolgtem Wechſel von Gas und Luft treten die Flammen aus den Bütten links und rechts in den Ofen ein, und die Abgaſe verlaſſen dann durch die mittlere Öffnung den Ofen, um, wie bekannt, durch die Regeneratoren in den Schornſtein zu gelangen. Es iſt hiernach klar, daß jede Ofenſeite eine einzelne Flamme enthält, ob ſo oder ſo gewechſelt worden iſt. Das Aufdiemitteſtellen der Wechſel, wie es bei der Ausarbeitung des Glaſes bei Regenerativ-Gasöfen für gewöhnlich geſchieht, iſt bei dieſen Öfen nicht notwendig, da, wie gezeigt, jede Ofenſeite eine beſtändige Flamme hat. Infolge dieſes regulären Betriebes bleibt auch der Unterofen heißer, was beim Aufſchüren des Ofens zur Schmelze dem Betriebe ſehr zu ſtatten kommt und Zeit- und Brennmaterialerſparnis zur Folge hat.

Eine weitere wichtige Eigenſchaft bei dieſem Ofenſyſtem mit Doppelflamme iſt die, daß jede Ofenſeite für ſich reguliert werden kann, wofür an paſſender Stelle geeignete Regulierungsmittel angeordnet werden. Die Flammenführung geſchieht je nach Erfordernis vertikal oder horizontal. Ferner geſtattet dieſe Ofenkonſtruktion in einfacher und wirkſamer Weiſe die Entnahme von heißer Luft für die Gasfeuerung der Nebenöfen.



241. Glasſchmelz-Hafenofen mit Doppelflamme.

Nebenöfen. Häufiger ſind außer den Schmelzöfen Nebenöfen in Gebrauch, die zur Vorbereitung der Rohmaterialien, zum Brennen des Thones oder zum Kühlen und Strecken des Glaſes, ſowie zum Anwärmen oder zum Trocknen der Brennmaterialien dienen. Je nach ihrer Beſtimmung unterſcheidet man: Temperöfen, Frittöfen, Darröfen, Calcinieröfen, Strecköfen und Kühlöfen. Sie werden in der Regel aus nicht feuerfeſten Materialien an die Schmelzöfen angebaut, oder ſtehen auch von letzteren getrennt. Von den Temperöfen (Hafenbrennöfen) iſt bereits oben die Rede geweſen. Die Frittöfen dienen zum Zuſammenſintern der Hafenbeſchickungsmaſſe. Sie werden ſtets an den Schmelzofen angebaut und ſind den Hafenbrennöfen ähnlich. Als Trockenöfen für Holz und Torf baut man über der Kappe des Ofens Gerüſte aus eiſernen Stangen oder Kaſten aus Eiſenblech, um die Brennmaterialien zu trocknen. Oder man baut einen langen Trockenkanal, der 1,5 m breit und 1,8 m hoch und auf dem Gewölbe mit einem kleinen Schornſtein verſehen iſt. Ein- und Ausfahrt iſt mit einer Thür verſchließbar. Auf dem Boden des Kanals laufen Schienen, die zur Aufnahme von ungefähr 13 Waggons dienen. Der Kanal wird erwärmt durch Feuer über der Sohle, durch deren kleine Füchſe die Wärme eintritt. Das Befeuerungsmaterial kann minderwertiger ſein. Mittels Winde werden nun die Wagen durch den Kanal gezogen, bis ſie ihn auf der anderen Seite verlaſſen, um neubefüllt wieder in den Kanal eingeſchoben zu werden. Calcinieröfen, zum Brennen von verſchiedenen Materialien, ſind gelegentlich der Beſprechung der Rohmaterialien beim Quarz erwähnt worden. Die Strecköfen dienen zum Strecken der geblaſenen Fenſter und Spiegelglascylinder; die Kühlöfen zum Kühlen der fertigen Produkte. Die Konſtruktion derſelben wird bei der Fabrikation der einzelnen Glasſorten kurz beſprochen werden.

Das Auftempern der Öfen. Ein neuer Ofen, welcher Art er auch ſei, kann nicht gleich dem Betriebe übergeben werden, ſondern er muß ganz allmählich angeheizt und auf die hohe Temperatur gebracht werden, welcher er beim Schmelzen der Glasmaſſe zu widerſtehen hat. Dieſes Aufbringen des Ofens auf eine beſtimmte Temperatur nennt man Auftempern. Daſſelbe iſt notwendig, damit der Ofen nicht Riſſe und Sprünge erhält. Bei Öfen mit Gasfeuerung werden proviſoriſche Füchſe im Feuerraum angelegt und in

diesen das erste schwache Feuer gemacht, welches allmählich bis zur Rotglut gesteigert wird. Bei Siemens-Öfen besonders muß man während des Auftemperns die Verankerung der Gewölbe durch Nachlassen der Ankerschrauben loser stellen, damit nicht die Gewölbeanker reißen, später werden die Schrauben wieder angezogen.

Bei Öfen mit direkter Feuerung werden zunächst die Rostöffnungen mit Lehm verstrichen, und es wird durch etwa zwei Wochen in der Schürgrube schwaches Feuer unterhalten; ist der Ofen nach dieser Zeit auf etwa 100° C. erhitzt, so werden die Roststäbe von Zeit zu Zeit etwas frei gemacht und das Feuer verstärkt. In den aufgetemperten Öfen werden hierauf die vorher in Temperöfen gleichfalls vorgehitzten Häfen gesetzt. Zu diesem Zwecke wird zunächst das Vorwandgestell des Schmelzofens aufgebrochen. Inzwischen wird im Temperofen der rotglühende Hafen sorgfältigst umgekehrt und mit der Hafengabel gefaßt. Diese besteht aus einem großen Hebebaum, der an einer Seite zwei gabelförmige Zinken trägt und in seiner Mitte mit einer Achse auf zwei Rädern sitzt. Mit dieser Hafengabel wird der Hafen in die Schürgrube gefahren und mit Hilfe eiserner Haken und der Gabel auf die Hafenbank gebracht. Bei Öfen mit Gasfeuerung wird der Hafen einfach durch Schieber auf seinen Platz gebracht.

Nach dem Einstellen folgt das Einglasen der Häfen, indem man geringe Quantitäten Gemenge einträgt und das niedergeschmolzene Glas mit einem Spatel über die Innenfläche gleichmäßig ausbreitet.

Das Schmelzen.

Die Umwandlung der Rohmaterialien in Glas wird durch den Schmelzprozeß herbeigeführt. Manchmal geht dieser Umwandlung noch ein Fritten (Halbschmelzen) voraus, was in den Frittöfen vorgenommen wird. Der chemische Vorgang beim Schmelzen ist folgender: Die Kieselsäure verbindet sich mit den Basen, dem Kalk, den Alkalien u. s. w. Durch die bei Anwendung von Glaubersalz zugesetzte Kohle wird die Schwefelsäure ausgetrieben, die als schweflige Säure entweicht; die Kohle geht als Kohlensäure und Kohlenoxyd weg. Die einzelnen Stadien beim Schmelzen sind: die Schmelzung, die Läuterung und die Kühlung.

Schmelzung. Ist durch Freimachen der Rostöffnungen und Aufbringung einer neuen Schicht Kohle die Temperatur bis zur hellen Weißglut gebracht, so schreitet man zum Eintragen des Gemenges in die Häfen von beiden Seiten des Ofens. Vor jedes Arbeitsloch wird ein eiserner Bock gestellt, über welchen schaufelweise das Gemenge in den Hafen durch Umkehren der Schaufel über der Mitte des Hafens gebracht wird. Ist der Hafen bis oben gefüllt, so wird das Arbeitsloch geschlossen und der nächste Hafen vorgenommen, Hat sich am unteren Teil des Hafens eine genügende Menge geschmolzenen Glases gebildet, so wird mehr Gemenge eingetragen, und zwar nach etwa fünf bis sechs Stunden. Unter Umständen wird dann nach einigen Stunden noch ein dritter Eintrag gemacht. Glasbrocken werden besser gleich mit dem Gemenge eingetragen, nicht zuletzt.

Beim Schmelzen erscheint auf der Oberfläche der geschmolzenen Glasmasse eine dünnflüssige, eigentümliche Substanz, die Glasgalle, die aus Kali-Natron-Kalk mit Chlor und Schwefelsäure besteht. Selten wird sie durch Ausschöpfen entfernt, sondern fast stets durch ein längeres Schmelzen weggebracht. Bei größerem Vorhandensein von Glasgalle wird die Schmelze leicht fehlerhaft; in diesem Falle ist also dann zur Vermeidung der Glasgallebildung in größeren Mengen mehr Kohlenpulver hinzuzusetzen.

Läuterung. Läßt das Gemenge keine ungeschmolzenen Bestandteile mehr erkennen, so läßt man den Ofen heißer gehen, um das Glas dünnflüssiger zu machen (Heißschüren). Der Hafeninhalt kommt in lebhafte Bewegung, da Gasblasen aus dem Hafeninhalt entweichen. Es tritt eine ordentliche Durchmischung ein, die auch häufig durch Einstoßen einer Kartoffel oder durch Umrühren mit einem frischen Holzscheit gefördert wird. Beim Heißschüren tritt zunächst starkes Schäumen auf, das jedoch später nachläßt.

Kühlung. Lassen sich herausgenommene Proben in reine knotenfreie Fäden ausziehen, so wird die Ofentemperatur abgeschwächt. Dadurch wird die Bewegung des Glases eingestellt. Luft- und Gasventile werden nach und nach geschlossen und die Arbeits-

öffnungen allmählich mehr und mehr erweitert. Durch dieses Kaltschüren geht das Glas in einen zähen Zustand über, in welchem es verarbeitet wird. Um das Glas auf einer gewissen Temperatur zu erhalten, muß dann für allmähliches Eintreten der Flamme weiter gesorgt werden.

Die Folgen einer fehlerhaften Schmelze. Am häufigsten wird bei dem Glase ein Fehler beobachtet, den man mit „Welligwerden" und „Ranzigwerden" bezeichnet. Es sind dieses Ungleichmäßigkeiten im Glase, z. B. Fäden, Adern oder Bänder, oder verändertes Lichtbrechungsvermögen in den einzelnen Teilen. Die Ursache liegt in einer ungenügenden Vermischung des Gemenges, und so sind in diesem Falle dem fertig gebildeten Glase gewöhnlich unverglasbare oder schwerverglasbare Substanzen zugesetzt worden; diese Fehler werden auch hervorgerufen durch Abschmelzen der Hafenmasse, Abtropfen von Silikaten von den Gewölben, oder sie sind die Folge von ungenügender Hitze in den Öfen. Die von den Gewölbetropfen herrührenden Fehler werden als Stein oder Tropfen, nach der Größe der im Glase zurückbleibenden Spuren bezeichnet. Wenn während des Schmelzens oder des Läuterns einzelne Tropfen in die Glasmasse fallen, so hinterlassen dieselben lange Spuren in Gestalt eines Haarbusches oder gewundener Streifen, welche „Winden" oder „Schlieren" genannt werden. Ein anderer Fehler ist das Blasig- oder Gipsigwerden des Glases, dessen Ursache eine zu hohe oder niedere Temperatur des Ofens beim Läutern oder auch das Eindringen eines fremden Körpers, wie Staub oder Stückchen metallischen Eisens ist. Das sandige Glas enthält kleine, weiße Sandkörner, die in der Regel von einem kieselsäurereicheren Glase umgeben sind, welches durch das veränderte Lichtbrechungsvermögen von der Glasmasse absticht. Dieser Fehler wird allgemein dem Umstande zugeschrieben, daß beim Einlegen des Gemenges nicht die nötige Hitze im Ofen war, so daß das Alkali bei der langsamen Schmelzung nur auf die zunächst liegenden Sandpartien einwirkte und bei den großen Mengen von Sand eine Abscheidung stattfand. Zur Beseitigung dieses Fehlers ist die Glasmasse auf eine höhere Temperatur zu bringen und nochmals zu blasen. Weitere fehlerhafte Erscheinungen sind die, welche man mit „Hafensteine" bezeichnet. Es sind dieses von der Hafenwand herrührende, weißlichgraue, erbsengroße Stücke, die sich in der Glasmasse ablagern. Entstehungsursachen sind: ungenügende Mischung der Rohmaterialien und zu große Hitze während der Läuterung. Eine beginnende Entglasung bezeichnet man mit „Krätzigwerden". Diese Erscheinung tritt auf, wenn die Ofentemperatur zu weit gesunken ist. Als Mittel zur Beseitigung dient nur eine höhere Temperatur. Ebenfalls Entglasungserscheinungen sind die Nebel-, Rauch- und Wolkenbildungen. Durch Einführung der Gasheizung, bei der man die Temperatur besser regulieren kann, ist es erreicht, daß alle diese Fehler weit seltener auftreten, als bei den Öfen mit direkter Feuerung.

Die Verarbeitung der Glasmasse.

Das Blasen der Hohlgläser.

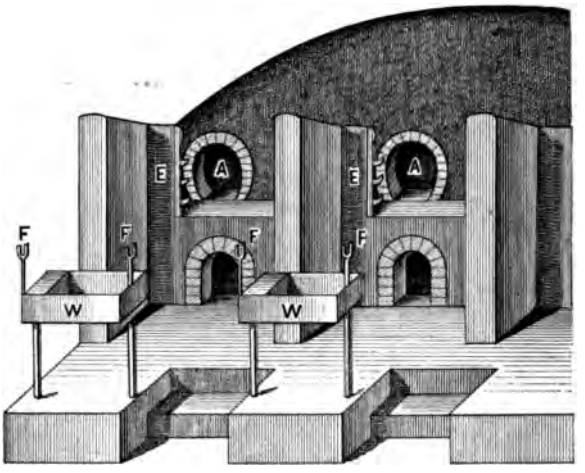
Grünglas- oder Flaschenfabrikation. Die Materialien, die zur Fabrikation von grünem Flaschenglas benutzt werden, sind außerordentlich mannigfaltig. Da die hergestellten Waren zu einem sehr niedrigen Preise abgegeben werden müssen, so dürfen die Rohmaterialien nur sehr wenig kosten, und gewöhnlich werden alle diejenigen zur Glasfabrikation geeigneten Materialien verarbeitet, die sich in allernächster Nähe vorfinden. Es können benutzt werden eisen- und kalkhaltige Sande, verschiedene Thone, alkalische Mineralien, wie Feldspatarten, Laven, Basalte, Seesand und Seeschlamm, natürlich vorkommende Baryte und Strontianverbindungen, außerdem Granit, Gneis, Bimsstein und die verschiedensten anderen Produkte. Wie die zur Verwendung kommenden Rohmaterialien, so sind auch die Glassätze, die bei der Flaschenfabrikation gebraucht werden können, außerordentlich zahlreich. Dabei kommt es nicht auf die Färbungen an, sondern es ist nur darauf zu sehen, daß die Massen vollständig verglast sind.

Da die Flaschen billig sein sollen, so verbietet sich ein erheblicher Zusatz der teuren reinen Alkalien von selbst, und daher sind im allgemeinen die Flaschengläser arm an diesen

Der Gehalt an Kieselsäure ist ebenfalls geringer in den Flaschengläsern, die sich durchweg durch einen höheren Gehalt an Thonerde auszeichnen. Das Verhältnis von Kieselsäure zur Kalkerde, zu den Alkalien ist etwa: 2,1 : 1 : 0,1. Da die verschiedensten Materialien zu der Flaschenfabrikation verwandt werden, so ist die Angabe der Glassätze wertlos, wenn nicht daneben die chemische Zusammensetzung der betreffenden Rohmaterialien angegeben wird. In der Wahl der letzteren braucht man, wie gesagt, nicht ängstlich zu sein, wenn nur ungefähr Produkte resultieren, die etwa 60—66 % Kieselsäure, 2—5 % Eisen-

242. Glasbläserpfeife.

oxyd, 3—7 % Thonerde, bis zu 7 % Magnesia, bis zu 25 % Kalkerde und bis zu 5 % Alkalien neben Manganoxyd enthalten. Bei der Benutzung von Gneis aus dem Sächsischen Erzgebirge war der Glassatz folgender: 100 kg Gneis, 70 kg Kalkstein, 60 kg Sand. Nach Analysen von guten Flaschengläsern nach Weber würde sich folgendes Gemenge gut zur Fabrikation von Champagnerflaschen eignen: 100 kg Sand (gelb), 39 kg leichtschmelzender, kalkhaltiger Thon, 41 kg Kreide, 22,7 kg Glaubersalz, 1,1 kg Kohle. Allen Glasgemengen gibt man beim Einschmelzen bis zur Hälfte ihres Gewichtes einen Zusatz an Glasbrocken. Die Gemengebestandteile für die Grünflaschenfabrikation werden im Hafen- oder in neuerer Zeit meist im Wannenofen verschmolzen, wobei nicht die Vorsicht beim Schmelzen und Kühlen beobachtet zu werden braucht, wie bei besseren Gläsern.



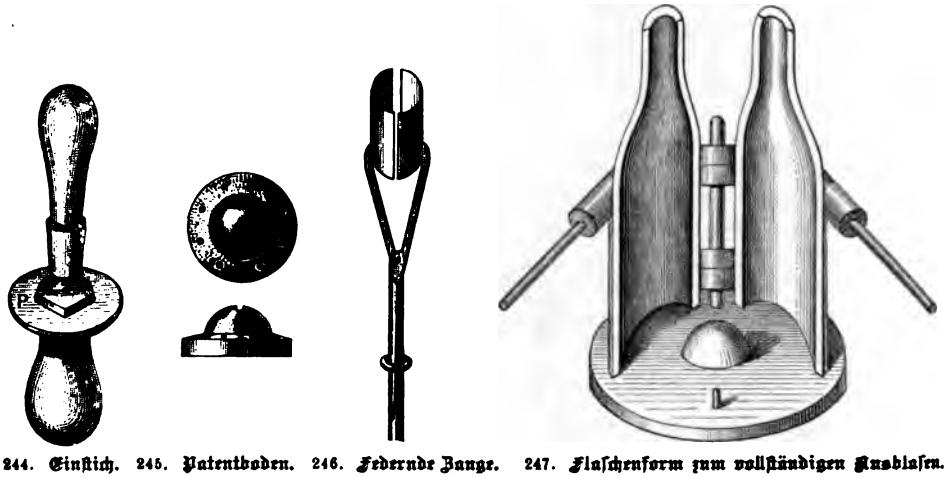
243. Ofen mit Arbeitsbühne.

Die Ausarbeitung der Glasmasse geschieht durch geschickte Arbeiter, ohne große Hilfsapparate und hauptsächlich mit dem Auge, der Lunge und der Hand. Das wichtigste Werkzeug des Glasbläsers ist die Pfeife. Sie besteht aus einem 1—1 1/3 m langen, fingerdicken, eisernen Rohre a, welches in einem hölzernen Rohre b befestigt ist. Am oberen Ende ist ein Metallansatz, das Mundstück, befestigt, welches zum Einblasen dient. Zu beiden Seiten des Ofens befindet sich in einer Höhe von 1/2—1 m über der Hüttensohle eine gemauerte und mit Brettern bedeckte Arbeitsbühne, Rüstung genannt, wo die Glasmacher mit ihren Gehilfen arbeiten. Die Abb. 243 zeigt einen Ofen mit Arbeitsbühne. A A sind Arbeitslöcher, E die sogenannten Schirmeisen, W W sind Wasserbehälter zum Kühlen der Pfeifen, F ist das sogenannte Fauleisen, das als Stütze für die Pfeife beim Bearbeiten des Glases dient.

Die älteste und einfachste Art der Flaschenfabrikation geschah in folgender Weise. Der Arbeiter tauchte die Pfeife in die zähflüssige Glasmasse, drehte sie ein paarmal um ihre Längsachse und zog sie dann heraus, den Kopf nach unten haltend; ebenso holte er nach dem Erstarren des ersten einen zweiten oder dritten Teil Glas heraus. Die ganze Glasmasse verteilte er durch Hin- und Herwälzen auf der eisernen Marbelplatte möglichst gleichförmig um den Pfeifenkopf und brachte sie zum größten Teil vor den Kopf der Pfeife. Indem er nun das Glas in der Arbeitsöffnung des Ofens wieder anwärmte und wiederholt stark in die Pfeife blies, brachte er die erste Höhlung in dem Glas hervor. Indem er dann das Glas abermals anwärmte und die Pfeife lotrecht nach unten

hielt, bewirkte er, daß das Glas ſich ſtreckte, und konnte es dann, indem er es wiederum und zwar ſtärker anwärmte und die nun wagerecht gehaltene Pfeife beſtändig drehte, in einem Thonring zur Flaſchenform ausblaſen; hierauf drückte er mit Hilfe eines ſtumpfen Eiſens den Boden der Flaſche nach innen. Nun konnten die Vollendungsarbeiten beginnen. Nachdem er die Flaſche mit etwas flüſſigem Glas an dem Hefteiſen befeſtigt, dann durch einen Tropfen Waſſer und einen kurzen Schlag die Flaſche von der Pfeife getrennt hatte, ſchmolz er den Flaſchenhals rund und umwand ihn nahe der Mündung mit einem Faden flüſſigen Glaſes, dann beſeitigte er auch das Hefteiſen, und die Flaſche konnte in den Kühlofen wandern.

Dieſe Art der Flaſchenbildung wird aber heutzutage wohl kaum angewandt werden. Die Flaſchenfabrikation iſt in neuerer Zeit ſehr verbeſſert, wodurch der Arbeiter ſchneller arbeiten und beſſere Waren herzuſtellen im ſtande iſt. Die Hilfsapparate ſind der Einſtich, der Patentboden, komplette Flaſchenformen von Metall, ferner Zangen und die verſchiedenartigſten Halsſcheren. Der Einſtich (Abb. 244) dient dazu, den hohlen Boden bei allen Flaſchen gleichmäßig anzubringen. Er beſteht aus einem hölzernen Griff, welcher eine verſtellbare Eiſenplatte P trägt. In der Mitte dieſer Platte iſt ein abgerundeter Konus, womit der Eindruck in den Flaſchenboden gebildet wird. Die Tiefe des Eindrucks richtet



244. Einſtich. 245. Patentboden. 246. Federnde Zange. 247. Flaſchenform zum vollſtändigen Ausblaſen.

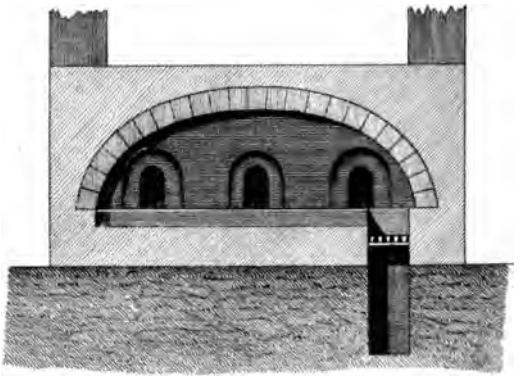
ſich nach der Stellung der Scheibe. Eine weitere Verbeſſerung iſt der Patentboden (Abb. 245); derſelbe iſt eine runde Eiſenſcheibe, deren Durchmeſſer genau ſo groß iſt, wie der der Flaſchenform. In der Mitte dieſer Scheibe iſt eine Erhöhung, die den Hohlboden der Flaſche bildet. Statt des Hefteiſens verwendet man nunmehr die federnde Zange (Abb. 246), die mit zwei ſattelförmigen Eiſenblechteilen verſehen iſt, welche den Flaſchenkörper genau umfaſſen. Iſt die Flaſche in der Form ausgeblaſen, ſo wird dieſelbe mit der erwärmten Zange gefaßt und der Verſchlußring angezogen; die Flaſche ſitzt nun feſt und wird von der Pfeife abgetrennt. Ferner gibt es Formen, bei denen die ganze Flaſche mit dem Halſe ausgeblaſen werden kann. Solche Formen (ſ. Abb. 247) beſtehen aus zwei gußeiſernen gleichen Teilen, die mittels Scharniere zum Öffnen miteinander verbunden ſind. Die Formen werden heißgemacht und mit Öl ausgeſpritzt. Durch dieſe Formen erhalten die Flaſchen genau gleiche Größe und gleichen Inhalt. Um die verſchiedenen Flaſchenhälſe für die immer neu auftauchenden Verſchlüſſe herzuſtellen, bedient man ſich eigens dazu hergeſtellter Flaſchenhalsſcheren.

Nachdem die Flaſchen fertig geblaſen ſind, läßt man ſie in Kühlöfen allmählich erkalten. Dieſe Kühlöfen ſind weite Flammöfen mit niedrigen Gewölben und ſeitlicher Feuerung. Die Temperatur in den Kühlofen wird auf 300—400° erhalten. Das Einſtellen der Flaſchen in den Kühlofen geſchieht reihenweiſe durch einen Arbeiter, der mit einem ſpitzen Eiſen in den Hals der Flaſche fährt und dieſelbe ſo an Ort und Stelle

bringt. Nach beendeter Füllung wird der Ofen gut verschlossen und einen Tag in Ruhe belassen. Dann werden kleine Öffnungen im Ofen freigelegt, doch soll eine zu rasche Kühlung vermieden werden. — Für Wannenöfen sind kontinuierliche Kühlöfen im Gebrauch, die 2—3 m breit und 16—20 m lang sind. Die Heizung geschieht gewöhnlich durch einen Fuchs aus dem Schmelzofen. In den breiten Seiten ist je eine Öffnung angebracht; auf dem Boden befindet sich ein Schienenstrang, auf welchem kleine eiserne Fahrzeuge laufen. Ist der Ofen am vorderen Teil genügend erhitzt, so wird mit der Füllung begonnen. Nachdem der erste Wagen vollgeladen, wird er vorgeschoben und der nächste gefüllt und so fort, bis der erste Wagen am anderen Ende angelangt ist, abgeladen und von neuem gefüllt werden kann.

Säureballons werden in ähnlicher Weise hergestellt wie die Flaschen; der an der Pfeife hängende Glasklumpen ist jedoch erheblich größer und schwerer aufzublasen. Der Glasbläser nimmt daher Wasser in den Mund und verschließt das Mundstück mit der Zunge oder dem Daumen; der in der Blase sich entwickelnde Wasserdampf treibt nun den Ballen bis zur richtigen Größe auf. Ein Gehilfe ebnet mit einem Flachholz den Boden.

Die Fabrikation von halbweißem Hohlglas ist dieselbe, wie bei dem Grünglase, nur daß das Läutern mit größerer Sorgfalt durchgeführt wird. Die zum Schmelzen benutzten Materialien enthalten auch weniger Eisen und Thonerde, als die Rohmaterialien für die Grünglasfabrikation. Die Ausarbeitung ist dieselbe wie die beim Weißhohlglase, welche später besprochen wird. Die Herstellung der Retorten, Koch- und Medizinflaschen u. s. w. geschieht ohne und mit Anwendung von Formen, und zwar werden Retorten gewöhnlich ohne, Medizinflaschen und Lampencylinder in der Regel in der Form geblasen.

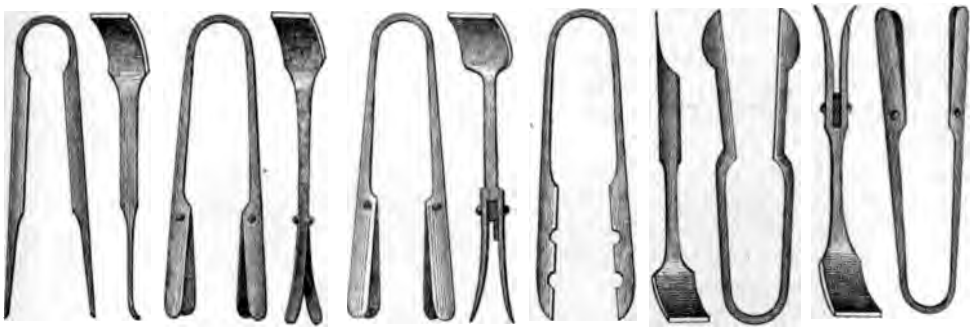


248. Kühlofen.

Hier ist es wohl am Platze, einen wichtigen Fortschritt auf dem Gebiete der Glastechnik zu erwähnen, der besonders für die Herstellung von Glasgefäßen für chemische Laboratorien von großer Bedeutung und Wichtigkeit ist. Auch diese Neuerung haben wir dem Glastechnischen Laboratorium von Schott und Genossen zu verdanken, und sie ist insbesondere den erfolgreichen Arbeiten von Schott zuzuschreiben. Im Anschluß an die Bestimmungen von Ausdehnungskoeffizienten bei Gläsern, worüber eingangs gesprochen wurde, sind von Schott Versuche angestellt worden, Gläser von verschiedener Ausdehnung übereinander gelegt zu chemischen Geräten zu verarbeiten. Bei diesen Versuchen kam Schott zu ganz überraschenden Resultaten. Bisher war man stets bemüht, überall da, wo man gezwungen war, zwei verschiedene Glassorten miteinander zu vereinigen, z. B. bei der Anfertigung mancher farbiger Überfanggläser, oder bei der Darstellung von Glasröhren mit weißen Emaillestreifen, die Ausdehnungsverhältnisse der Gläser in möglichst nahe Übereinstimmung zu bringen, um während der Abkühlung der Selbstzertrümmerung des Glases vorzubeugen. Nach den Ermittelungen von Schott ist dies nicht mehr nötig, sondern es ist nur festzustellen, unter welchen geeigneten Bedingungen sich auch Gläser mit bedeutenden Unterschieden in der Ausdehnung gut miteinander vereinigen lassen. Wie Schott nachweist, ist es dann nur notwendig, ein gewisses Stärkenverhältnis der Schichten einzuhalten. Vereinigt man z. B. Jenaer Normal-Thermometerglas, dessen Ausdehnungskoeffizient = $0{,}0000244$ ist, mit dem Borosilikat-Natron-Thonerdeglas, dessen Ausdehnung = $0{,}0000177$ ist, derart zu einem Hohlglas, daß ersteres sich außen, letzteres sich innen befindet, so darf die Schicht des letzteren Glases nur etwa $^1/_{10}$ bis $^1/_{15}$ des ersteren betragen, wenn kein Zerspringen beim Abkühlen erfolgen soll.

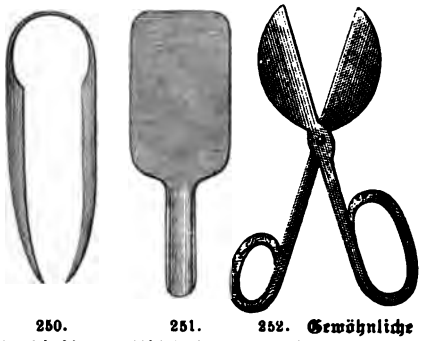
In ähnlicher Weiſe, wie man zwei Schichten verſchieden ſich ausdehnender Gläſer miteinander verbinden kann, gelingt dies auch mit drei und mehr Schichten von zwei oder mehr Glasſorten. Es iſt auch dann nur nötig, der Ausdehnung die Dickenverhältniſſe anzupaſſen.

Die gegenſeitige Beeinfluſſung ſolcher Glaslagen iſt leicht in dem Eintreten von Spannungen zu erkennen; denn die Glasſchicht mit der größeren Ausdehnung befindet ſich im Zuſtande der Dehnung, während die andere Schicht ſich zuſammenzieht, oder vielmehr einen Kompreſſionszuſtand zeigt. Vereinigt man an der Pfeife zwei ſich verſchieden ausdehnende Gläſer derart, daß die Schicht mit der größeren Ausdehnung ſich innen befindet, und bläſt man dann das Glas zu einem Hohlkörper auf, ſo befindet ſich die innere Schicht nach der Abkühlung im Zuſtande der ſtärkeren Dehnung — ganz ähnlich wie die Bologneſer Fläſchchen. Einen derartigen Hohlkörper kann man durch leiſes Ritzen zum Zerſpringen bringen. Befindet ſich bei einem Hohlkörper die ſich weniger ausdehnende Glasſchicht innen, ſo iſt ſelbſt ein ſtarkes Ritzen der Innenwand wirkungslos. Ein ſolcher Körper entſpricht ganz dem Hartglaſe, nur daß man ſich anſtatt der ſchnellen Abkühlung zur Erzeugung der Kompreſſion im Inneren einer Glashaut mit geringer Ausdehnung bedient.



249. Glasſcheren und Zangen.

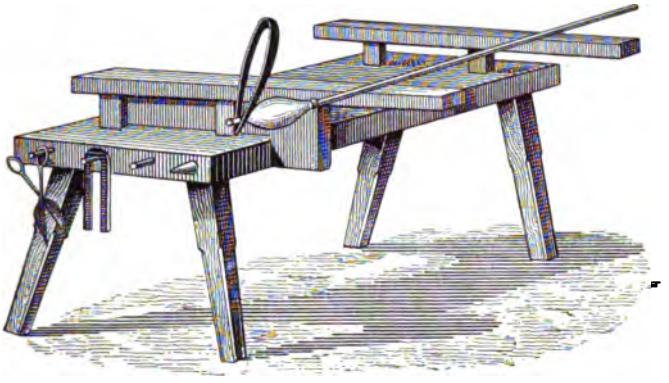
Komprimierte Außenſchichten erhöhen die Widerſtandsfähigkeit des Glaſes gegen mechaniſche Einflüſſe und plötzlichen Temperaturwechſel. Man ſollte daher ſtets gläſerne Gebrauchsgegenſtände mit ſolchen Kompreſſionsſchichten verſehen, und zwar ſollte man, ſtatt der beſchleunigten Abkühlung, die große Übelſtände aufweiſt, ſich des Überfangens mit einem Glaſe von geringem Ausdehnungskoeffizienten bedienen. Ein derartig hergeſtelltes Glas bezeichnet man mit „Verbundglas“. Die Herſtellungsweiſe desſelben iſt der Firma Schott & Genoſſen in Jena patentiert. Mit Erfolg hergeſtellt werden aus Verbundglas: Kochflaſchen, Glasſchalen, Lampencylinder und vor allem Waſſerſtandsröhren. Die Kochflaſchen kann man bis auf 180° C. erhitzt (mit Anilin gefüllt) mit kaltem Waſſer anſpritzen. Die Glasſchalen können auf freier Flamme erhitzt werden. Die Lampencylinder geſtatten von innen ein Beſprengen mit Waſſer, ohne zu zerſpringen. Die Verbundglas-Waſſerſtandsröhren ſind von allen am widerſtandsfähigſten. Werden dieſelben auf 200—300° C. in Öl erhitzt, ſo können ſie vertikal in Waſſer getaucht werden, ohne zertrümmert zu werden. Selbſtzertrümmerungen wie bei dem de Baſtieſchen Hartglaſe ſind von Schott bisher nicht beobachtet worden. Hinſichtlich der Zuſammenſetzung der zu benutzenden Glasarten iſt ein weiter Spielraum gelaſſen. In der Regel wird man paſſende Ausdehnungsunterſchiede durch verſchiedenen Gehalt an Alkalien erreichen können. Wie weit dieſes Schottſche Verbundglas wird Anwendung



250. Zwickeiſen. 251. Plätteiſen. 252. Gewöhnliche Schnittſchere.

finden können, läßt ſich noch nicht überſehen, doch iſt dem Glaſe eine große Zukunft ſicher.

Fabrikation von Weißhohlglas und böhmiſchem Kryſtallglas. Bei der Herſtellung des Hohlglaſes hat man früher kalkärmere Sätze eingeſchmolzen, als jetzt. Die Verhältniszahlen zwiſchen Kieſelſäure, Kalk, Alkali für Weißhohlglas ſchwanken zwiſchen: 4,94 bis 9,75 : 1 : 0,8—1,5. Die gewöhnlichſte Zuſammenſetzung des Kryſtallglaſes dagegen wird durch folgende Verhältniszahlen ausgedrückt: Kieſelſäure, Kalkerde, Alkalien = 5,5 : 1 : 2.



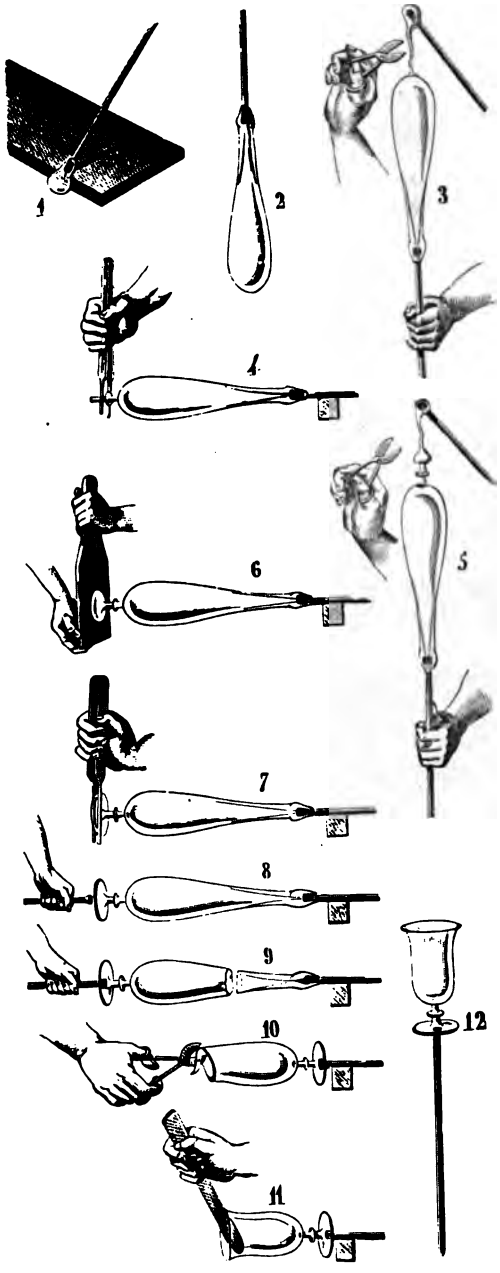
253. Holzbank zur Stuhlarbeit.

Zſcheuſchner gibt für älteres und neueres Weißhohlglas und Kryſtallglas folgende Sätze an. Für Böhmiſches weißes Glas: 100 kg weißer Sand, 50 kg gereinigte Pottaſche, 20 kg Kreide, 1,6 kg Salpeter, 0,08 kg Braunſtein, 100 kg Glasabfall oder (Feines weißes Glas) oder 100 kg weißer Sand, 50 kg gereinigte Pottaſche, 20 kg Kreide, 2 kg Salpeter, 0,2 kg Braunſtein, 100 kg Scherben; für ordinäres, weißes Glas zu Retorten, Kolben u. ſ. w. 100 kg weißer Sand, 35 kg gereinigte Pottaſche, 100 kg Holzaſche,

254. Arbeiten auf dem Stuhle mit der Zwickſcherre.

0,5 kg Braunſtein, 17 kg Kalkhydrat, 100 kg Scherben oder für Medizinglas: 100 kg Sand, 10 kg Kalkhydrat, 40 kg amerikaniſche Pottaſche, 10 kg Kochſalz, 8 kg Salpeter, 0,6 kg Arſenik, 0,2 kg Braunſtein, 100 kg Glasſcherben; für weiße Glasflaſchen: 100 kg Sand, 8 kg Kalkhydrat, 60 kg amerikaniſche Pottaſche, 8 kg Salpeter, 0,5 kg Arſenik, 0,3 kg Braunſtein bezw. 100 kg Sand, 12 (20) kg Pottaſche, 20 (14) kg Leblanc-Soda 18 (16) kg Kalkſtein, 0,03 (0,04) Nickeloxyd. Als Entfärbungsmittel für Hohlgläſer wird gewöhnlich Braunſtein benutzt oder Nickeloxyd. Bei dem Zuſatz von Braunſtein gilt als praktiſche Regel, mit demſelben ſo weit zu gehen, daß das fertig geſchmolzene, raſch erkaltete Glas einen rötlichen Stich beſitzt: letzteres verliert ſich im Kühlofen, und das Glas wird

hier bedeutend blaſſer. Das böhmiſche Kryſtallglas zeichnet ſich durch ſeine Härte, hohen Glanz, Schwerſchmelzbarkeit, Leichtigkeit und vollkommene Farbloſigkeit aus; es iſt ſeiner Zuſammenſetzung nach ein Kali-Kalkſilikat, und die beſte Marke desſelben kommt unter dem Namen Kryſtallglas oder Kronglas in den Handel. Dieſes Glas iſt jedoch nicht zu verwechſeln mit dem Bleikryſtall.



255—266. Die verſchiedenen Phaſen eines Trinkglaſes bei ſeiner Herſtellung.

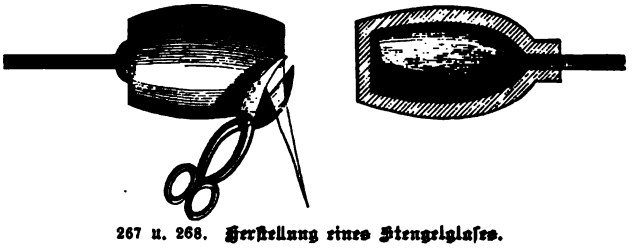
Bleikryſtall. Zur Herſtellung dieſes Glaſes ſind beſonders gute Materialien erforderlich, die namentlich frei von färbenden Oxyden ſein müſſen. Die Bleigläſer zeigen alle eine mehr oder minder gelbliche Färbung, die um ſo mehr hervortritt, je höher der Bleigehalt iſt. Man hat daher verſucht, einen Teil des Bleioxydes durch Kalk und Baryt zu erſetzen, ſo daß auf dieſe Weiſe die ſogenannten Halbkryſtalle entſtanden ſind, die jedoch in ihrem optiſchen Verhalten dem Bleikryſtall nachſtehen. Um eine Reduktion des Bleioxydes zu Blei zu verhindern, erſetzt man gern einen Teil des Kalis durch Salpeter, der ſtark oxydierend wirkt. Zur Entfärbung werden den Kryſtallſätzen Braunſtein, Nickeloxyd, Kobalt- und Antimonoxyd zugeſetzt, deren richtige Mengen am beſten in einer Probeſchmelze beſtimmt werden.

Die Sätze für die verſchiedenſten Bleigläſer ſind nach Zſcheuſchner für leichten Bleikryſtall in offnen Häfen: 100 kg Sand, 33 kg Pottaſche, 8 kg Salpeter, 42 kg Mennige, 0,2 kg Braunſtein, 100 kg Brocken; für feinen Kryſtall in offenen Häfen: 100 kg weißer Sand, 45 kg Mennige, 35 kg gereinigte Pottaſche, 0,3 kg Arſenik, 0,2 kg Braunſtein, 100 kg Brocken.

Die in offenen Häfen eingeſchmolzenen Gemenge können nämlich etwas ſchwerer fließend ſein, wie in bedeckten Häfen bereitete Glasmaſſen. Letztere erhalten einen höheren Zuſatz an Flußmitteln. Die Zuſammenſetzung der in bedeckten Häfen hergeſtellten Schmelzen iſt für feinen Kryſtall: 100 kg weißer Sand, 67 kg Mennige, 35 kg gereinigte Pottaſche, 0,3 kg Arſenik, 0,2 kg Braunſtein, 100 kg Glasabfall, bezw. 100 kg Sand, 67 kg Mennige, 28 kg Pottaſche, 6 kg Salpeter, 0,25 kg Arſenik, 0,2 kg Braunſtein, 100 kg Brocken.

Die Ausarbeitung des Glaſes erfolgt durch Handarbeit mit Hilfe der Pfeife und verſchiedenſten Scheren und Zangen (Abb. 249—252). Bei ſchwierigen Arbeiten ſind dem Fertigmacher noch zwei oder drei Hilfsarbeiter gegeben. Der Anfänger entnimmt den Poſten aus dem Hafen, marbelt ihn und gibt ihm die erſte Höhlung; der Vorbläſer

t das Stück weiter aus und übergibt es dem Fertigmacher zur Vollendung. Dies ht ſitzend im Glasmacherſtuhl (Stuhlarbeit). Die dabei benutzten Formen ſind olz. Der Stuhl iſt eine ſtarke hölzerne Bank mit zwei Armen, auf welche die geſtützt wird.

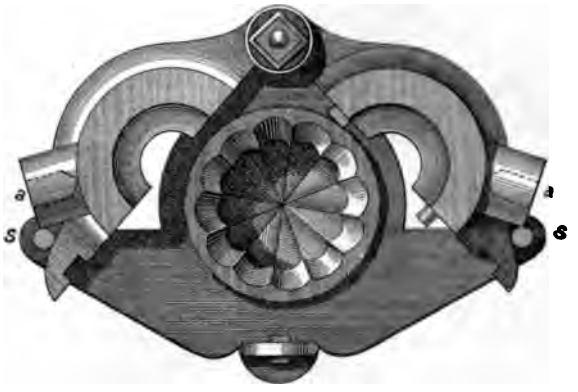


267 u. 268. Herſtellung eines Stengelglaſes.

Trinkgläſer werden gewöhnlich aus freier Hand hergeſtellt. Der Arbeiter nimmt aus dem Hafen die entſprechende Menge Glas, formt und bläſt die Maſſe, bläſt ſie zu einer Blaſe auf und verlängert dieſe Blaſe durch Schwingen. Das Stück durch Blaſen und erweitert, ſo wird der Boden gebildet, indem der Bläſer die Pfeife ſenkrecht hält nft gegen den Marbelſtein ſtößt. Das Arbeitsſtück hat die Form der Abb. 255—266. bere Teil des Glaſes mit der Pfeife wird abgeſprengt, nachdem man am Boden las ein Hefteiſen befeſtigt elches zur bequemeren Handhabung des fertig zu ſtellenden dient.

In Abb. 267 u. 268 iſt die llung eines gewöhnlichen elglaſes veranſchaulicht. Der acher entnimmt die nötige Glasmaſſe den Schmelzn und bearbeitet dieſe ſo, r obere, an der Pfeife liege Teil ſtärker wird; alsdann r den Glasposten in die Form obei das Glas die Geſtalt rm annimmt. An den Boden nun ebenfalls eine beſtimmte Glas gebracht, die zur Bildes Stengels genügt; er ſetzt f die Bank und erhält die mit dem Glaſe auf den beiſätteln in Drehung, wobei chzeitig mit den dazu nötigen n den Stengel bildet. Das wird wieder angewärmt, auf pitze des Stengels ein Glasen gelegt, aus dem der Bobildet wird. Der ſo hergeKelch wird nun am Boden n Hefteiſen geheftet, von der abgeſprengt, die ſcharfen angewärmt und mit der zugeſchnitten, nochmals anmt und durch Schwenkungen und Nachhelfen mit einem Flachholz fertiggeſtellt.

269. Glasform.



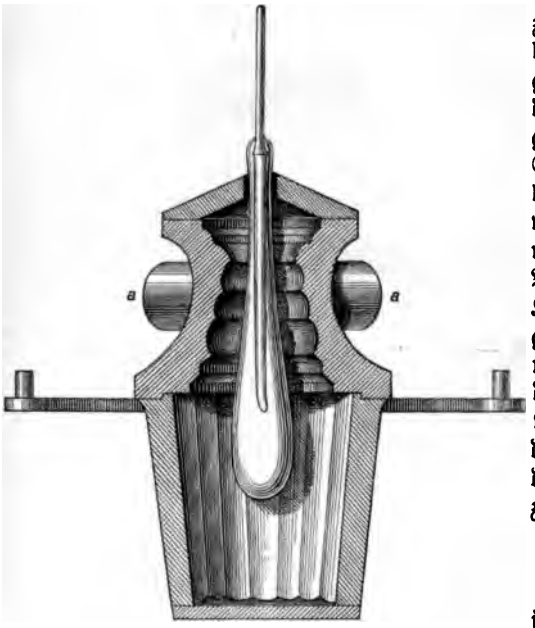
270. Glasform mit Anſatzſtück.

In neuerer Zeit wird die Stuhlarbeit teilweiſe oder ganz durch die Formenarbeit wodurch raſcher und billiger Waren hergeſtellt werden, wenngleich dieſe nicht ſo ausfallen, wie bei der Stuhlarbeit. Die Formen ſind gegoſſen und bei zuſammenn Gegenſtänden mehrteilig. Sie ſind gewöhnlich mit einem Hebelwerk, das mit uß regiert wird, zu öffnen und zu ſchließen. Die zur Herſtellung einer Karaffe

nötige Form (ſ. Abb. 269—271) beſteht aus drei Teilen: dem Rumpf R, den beiden Flügeln F mit den Anſätzen aa, in welche hölzerne Griffe geſteckt werden, die zum Auf- und Zuklappen der Flügel dienen. Die Stifte SS' verhindern ein zu weites Öffnen; l iſt eine Flügelſchraube, die die Form zuſammenhalten ſoll.

Die Form wird mit Harzpulver ausgeſtreut und das zu verformende Glas an der Pfeife in die geöffnete Form gehalten. Nach dem Schließen der Form bläſt der Arbeiter in die Pfeife, um die Glasmaſſe der Form anzupaſſen. Das Eintreiben von Luft kann auch durch eine Luftpumpe geſchehen. Über die Halsöffnung der Form wird ein Anſatzſtück aufgeſetzt, damit die Glasmaſſe beim Einblaſen nicht nach oben austreten kann. Nach der Fertigſtellung wird die Pfeife mit dem oberen Teil der Flaſche abgeſprengt und die ſcharfen Ränder werden rund geſchmolzen.

Sehr häufig wird Form- und Stuhlarbeit bei der Fabrikation von beſſeren Waren mit einander verbunden. Hierbei nimmt der Bläſer die beſtimmte Maſſe mit der Pfeife heraus, formt das Kölbchen und bläſt je nach Bedarf den unteren Teil mehr oder weniger auf. Dann läßt er erkalten und überzieht die Maſſe mit heißem Glaſe, worauf beide Schichten in die betreffende Form gebracht werden. Beim Einblaſen nimmt die äußere Glasſchicht alle Vertiefungen der Form an, während die innere Schicht infolge der Abkühlung rund bleibt. Nun wird das betreffende Stück vorgewärmt und auf dem Stuhle in raſche Drehung verſetzt. In bekannter Weiſe wird dann der Fuß gebildet, das Hefteiſen angebracht und die Pfeife abgeſprengt. Die dabei entſtandene Öffnung wird nach dem Vorwärmen auf dem Stuhl erweitert und in der Form vollendet, das Hefteiſen abgeſprengt und der Gegenſtand zum Kühlen geſtellt. Auf dieſe Weiſe werden vorzugsweiſe verzierte Schalen hergeſtellt.



271. Glasform (Querſchnitt).

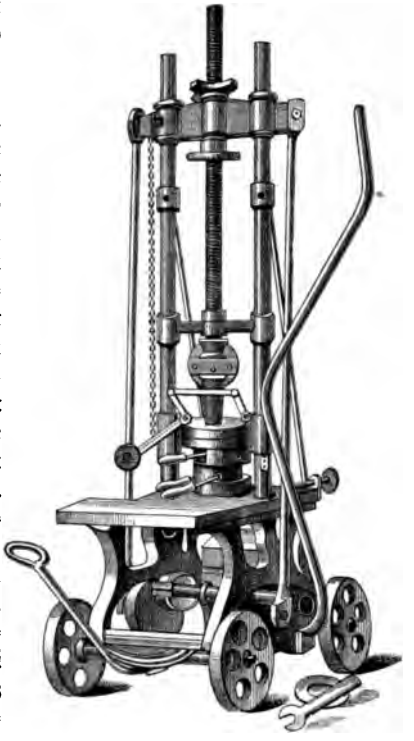
Preßglas.

Das Preſſen des Glaſes war ſchon im Altertum bekannt, iſt jedoch erſt im 19. Jahrhundert als angeblich engliſch-amerikaniſche Erfindung wieder zur Aufnahme gekommen. Thatſache iſt, daß die Chineſen bereits vor hundert Jahren Glas gepreßt, d. h. das zu erzeugende Gefäß durch Eindrängen eines Kernſtückes in die in der Hohlform befindliche Maſſe geformt haben. Auf dem europäiſchen Kontinent waren um 1830 die franzöſiſchen Fabriken Baccarat und St. Louis die erſten, die das Preßglas einführten; die dort auf dieſe Weiſe erzeugten Gefäße waren in ihrer Erſcheinung ſo neu und beſtechend, auch verhältnismäßig ſo billig, daß ſie epochemachend wirkten. Man verwendet dieſe Art der Formgebung zur Herſtellung für Hohlglas, wenn es ſich um Gegenſtände für den täglichen Gebrauch handelt, wo die geblaſenen Fabrikate zu teuer würden, vorzugsweiſe aber zur Erzeugung maſſiver Gegenſtände. Hauptſächlich werden durch Preſſen Meſſerbänkchen, Glaszapfen und Prismen für Kronleuchter, Arme an Wandleuchtern, Teller, Schalen, Glaskurzwaren, Perlen, Knöpfe hergeſtellt, aber auch Vaſen, Körbchen und andere Luxuswaren, ſowie anderſeits gläſerne Spindelpfännchen und Achſenlager für Maſchinen und die für die Leuchttürme benutzten großen, von kreisförmig gekrümmten Prismen umgebenen Linſen und prismatiſchen Ringſtücke.

Gegoſſenes und gepreßtes Glas. Zur Herſtellung von gegoſſenen und gepreßten Gläſern eignen ſich in erſter Linie die leicht- und dünnflüſſigen Gläſer, die bleihaltigen

wurden daher vorzugsweise dazu verwendet. In neuerer Zeit werden jedoch auch Gläser mit geringem und mit gar keinem Bleigehalt zur Fabrikation von Preßglas benutzt. Nach Henrivaux bestand der Glassatz eines amerikanischen Preßglases aus: 100 kg Sand, 37 kg Soda, 8 kg Natronsalpeter, 13 kg Kalk, 0,6 kg Arsenik, 0,15 kg Braunstein. Um die Fabrikation zu verbilligen, hat man an Stelle der teuren Mennige versucht, Baryt in die Glasmasse einzuführen. Zum Teil ist es auch gelungen, und besonders englische Fabriken haben gute Barytpreßgläser geliefert, die sich durch hohen Glanz auszeichnen.

Die Formen sind aus bestem Gußeisen zerlegbar hergestellt. Die Pressung der Glasmasse geschieht mittels eines Metallkernes, der durch ein Hebelwerk regiert wird. Der Kern bleibt so lange in der Glasmasse, bis das Glas so weit erstarrt ist, daß sich die Wände nicht mehr verbiegen können. Der Hebel wird nun gehoben und die Form auseinandergenommen, worauf der fertige Gegenstand nach Vollendung in den Kühlofen kommt. Um tadellose Ware zu erzeugen, muß man ein möglichst reines Glas schmelzen, welches sich leicht pressen läßt. Die zum Pressen nötigen Formen, die während des Pressens öfters eingeölt und abgekühlt werden, müssen sehr sauber gearbeitet sein. Auch die Preßglasfabrikation benötigt sehr geschickte Arbeiter. Hauptsächlich kommt es darauf an, die richtige Menge Glas in die Form zu bringen und das Glas nur eine gewisse Zeit darin zu lassen. In jeder Werkstatt sind in der Regel drei Personen beschäftigt: ein Anfänger, ein Presser und ein Verbrenner oder Auftreiber. Der Anfänger entnimmt die nötige Menge Glas rein und blasenfrei aus den Schmelzgefäßen, bearbeitet und rundet das Glaskölbchen. Den vorbereiteten Posten übernimmt nun der Presser; dieser schneidet die nötige Menge von der Pfeife in die Form ab und führt mit dem Hebel der Presse einen mittelstarken Druck aus. Das gepreßte Stück übernimmt dann der Verbrenner, um die teilweise rauhe Oberfläche durch Erwärmen zu glätten und ihm beim Verbiegen durch Auftreiben wieder die richtige Form zu geben. Der Verbrenner benutzt hierzu bei größeren Gegenständen das Hefteisen mit runder Scheibe, bei kleineren oder solchen Gläsern, die einen Fuß haben, die Federzange. Das Auftreiben oder Verbrennen geschieht gewöhnlich in Nebenöfen, in welchen das Glas so lange im Feuer erhalten wird, bis es rotglühend wird. Hierauf läßt man es wenig abkühlen und bearbeitet es dann von innen und außen mit dem Auftreibeholze. Doch ist es immer schwierig, die Oberfläche des gepreßten Glases glatt und gleichmäßig spiegelnd herzustellen, und man vermeidet deshalb womöglich ebene Fläche und wendet gern eine deckende reiche Verzierung an; auch körnt man den Grund zwischen den Ornamenten oder schleift ihn nachträglich matt.

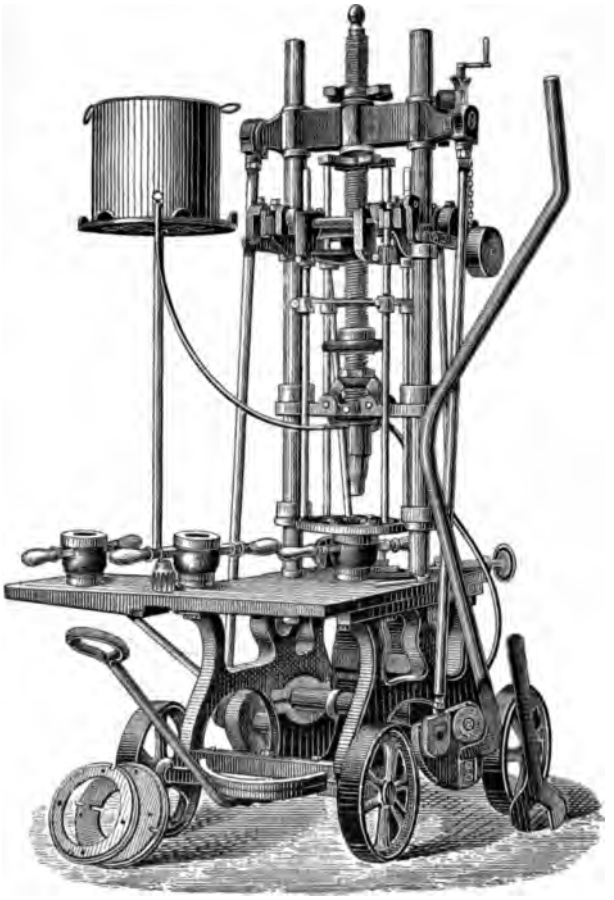


272. Geislersche Glaspresse.

Außer weißen Preßgläsern werden jetzt mit Vorliebe gelbe und grünlichgelbe gepreßte Gläser hergestellt und verkauft. Die gelben werden erzeugt durch Beimischung organischer Substanzen, wie Holzkohle, Rohrzucker u. s. w., die grüngelben durch Beimischung von Kadmiumsulfid. Um opalisierende Gläser herzustellen, genügt ein Zusatz von 15 kg Knochenasche auf 100 kg Sand. Um jedoch die verlaufende Opalisierung zu erzielen, muß folgendes beobachtet werden. Nach dem Auspressen des Stückes wird auf diejenigen Teile, die opalisieren sollen, ein kalter Luftstrom geleitet, indem man die Stücke auf dem Heft-

eiſen langſam dreht. Dann wird das Glas wieder auf Rotglut gebracht, und nun erſcheinen die abgekühlten Stellen opal. Als Neuerung auf dem Gebiete des Glaspreßverfahrens ſei die Preſſe von Geisler in Radeburg hier erwähnt.

Die Preſſe baut ſich auf einem Untergeſtell von 3 Achſen und 4 Rädern auf und iſt leicht transportabel. Auf dem Untergeſtell ruht die Tiſchplatte, in welcher 2 Säulen befeſtigt ſind. Dieſe beiden Säulen dienen zur Führung und zum Feſthalten der weiteren Maſchinenteile, ſie ſind am oberen Teile mit einem Stellring verſehen, welcher mit einer anderen angeſchraubten Stütze wieder mit der Tiſchplatte in direkter Verbindung ſteht. Oberhalb dieſer Stellringe iſt das Hauptſtück, durch welches eine verſtellbare Spindel geht, an welcher unten ein Führungsſtück angebracht iſt, um der Spindel genügend Widerſtandsfähigkeit zu verleihen. Unter dem Führungsſtück befindet ſich der Spindelkopf mit der Mutter und den Knaggen zum Feſthalten des Kernes. Unterhalb des Führungsſtückes iſt das zum Feſthalten der Form beſtimmte Excenterwerk feſt an die Säulen angeſchraubt. Dasſelbe iſt verſtellbar und kann je nach der Form eingeſtellt werden; es beſteht aus zwei Ringen, von denen der obere in feſter Verbindung mit den Naben ſteht, während ſich der untere auf und nieder bewegen läßt. Seine Beweglichkeit erhält derſelbe durch zwei Excenter, welche in den auf der feſten Platte ſitzenden Knaggen Führung haben. An dieſen beiden Excentern iſt je ein Hebel angebracht, welche wieder durch einen Steg miteinander verbunden ſind. An dem Hebel links iſt ein Arm angebracht mit einem Gewicht, das die in Verbindung mit dem Excenter ſtehende Platte nach unten drückt. Der Gewichtsarm iſt mit einer Kette verſehen, welche an dem beweglichen Hauptmittelſtück auf einem Haken angebracht iſt. Wird nun durch Bewegung des Hebels nach hinten das obere Mittelſtück nach oben in Bewegung geſetzt, ſo hebt ſich mittels des Zuges der Kette auch der Arm mit dem Gewicht, und mit dieſem auch die mit ihnen verbundene Platte, wodurch die Form frei und hantierbar wird.



273. Schnellpreſſe für Glasfabrikation (von Widner & Co. in Meuſelwitz).

Wird das obere Mittelſtück wieder bewegt, ſo tritt der Zug der Kette außer Wirkung, das Gewicht drückt den Hebel herunter und die Platte ruht wieder feſt auf der untergeſchobenen Form.

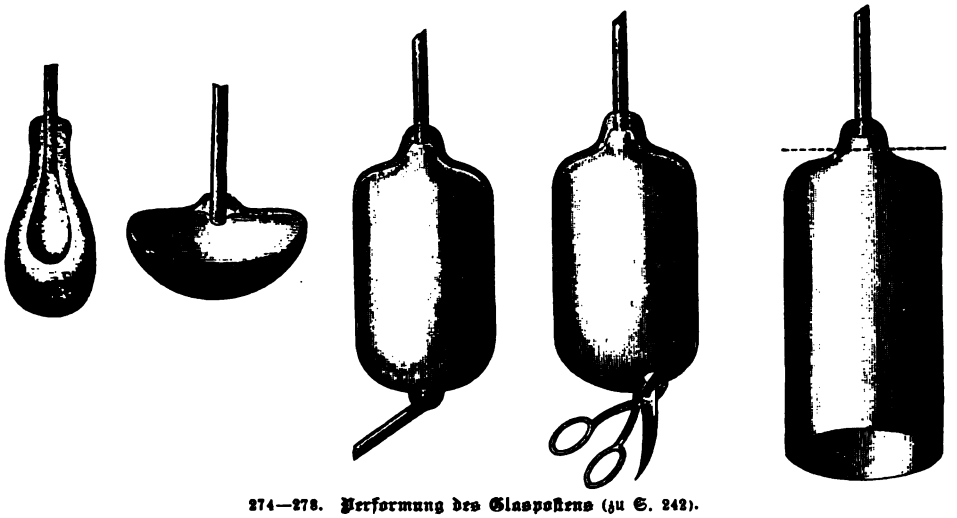
Der Firma Widner & Co. in Meuſelwitz (Sachſen-Altenburg) iſt eine Schnellpreſſe mit ſelbſtändigem Excenterwerk patentiert, die im Betriebe weſentliche Vorteile bieten ſoll.

Hartglas. Das Hartglas erhält ſeine hervorragenden Eigenſchaften nur durch den beſonderen Kühlprozeß; es ſind alſo beſondere Glasſätze zur Fabrikation desſelben nicht im Gebrauch; man benutzt ſowohl die leichtſchmelzenden Alkali-Kalk-Gläſer auch als bleihaltige Kalk-Natrongläſer.

Tafelglasfabrikation.

Der weitaus größte Teil der Glasfabriken erzeugt Tafelglas, das zu den wichtigsten Glassorten gerechnet werden muß. Der Betrieb in den Tafelglashütten ist außerordentlich einfach. Die Tafelglasöfen sind auf 6—8—10 Häfen eingerichtet, oder bei Wannenbetrieb je nach der Größe der Anlagen mit einer kleinen oder größeren Wanne ausgerüstet. Die Schmelzdauer bei Hafenbetrieb beträgt 30—36 Stunden, die Verarbeitung der Glasmasse 10—12 Stunden, wobei in der Woche 4—5 mal gearbeitet wird.

Fensterglas. Zunächst seien im folgenden erprobte Sätze angegeben. Setzt man die Kalkerde = 1, so berechnet sich das Verhältnis von Kieselsäure, Kalk, Alkalien bei bewährten Glassorten wie folgt: 4,1 : 1 : 0,6 bezw. 4,5 : 1 : 0,7, 4,9 : 1 : 0,8, 5,4 : 1 : 0,9, oder 6 : 1 : 1. Die Glassätze würden danach etwa folgende sein: für Natron-Kalkgläser bei Anwendung von festem, reinem Sand, Marmormehl und calc. Soda: 246 Teile Sand, 100 Teile Marmor, 63,6 Teile calc. Soda oder 270 Teile Sand, 100 Teile Marmor, 74,2 Teile Soda; für Natron-Kalkgläser bei Anwendungen von Glaubersalz: 246 Teile Sand, 100 Teile Marmor, 85,2 Teile Glaubersalz oder 270 Teile Sand, 100 Teile Marmor, 99,4 Teile Glaubersalz. Dazu kommen noch 4—6 % des Glaubersalzes an



274—278. Verformung des Glaspostens (zu S. 242).

Kohle hinzugesetzt; für Kali-Kalkgläser aus Sand, Marmormehl und Pottasche: 246 Teile Sand, 100 Teile Marmor, 82,8 Teile calc. Pottasche bezw. 270 Teile Sand, 100 Teile Marmor, 96,6 Teile Pottasche; für dieselben, wenn Sand, Marmormehl und schwefelsaures Kali angewendet werden: 246 Teile Sand, 200 Teile Marmor, 104,4 Teile Kalisulfat bezw. 270 Teile Sand, 100 Teile Marmor, 121,8 Teile Kalisulfat. Dazu ebenfalls 4—6 % des Sulfates an Kohle.

Zscheuschner gibt für Tafelglas folgende Sätze an und zwar für halbweißes Tafelglas: Mit Rohsoda und Holzasche: 100 kg gelben Sand, 200 kg Rohsoda, 50 kg Holzasche, 20 kg zerfallenen Kalk, 100 kg Glasbrocken. Für halbweißes Kaliglas mit Glaubersalz: 100 kg gelben Sand, 50 kg Pottasche, 10 kg Glaubersalz, 0,75 kg Holzkohle, 14 kg gelöschten Kalk, 100 kg Glasbrocken. Für weißes Tafelglas mit Glaubersalz: 100 kg weißen Sand, 35—40 kg Glaubersalz, 30—35 kg Marmormehl, 2,5 kg Kohle, 100 kg Glasbrocken; weißes belgisches Tafelglas mit Glaubersalz: 100 kg weißen Sand, 36 kg Glaubersalz, 40 kg kohlensauren Kalk 1,5 kg Kohle, 100 kg Glasbrocken; gewöhnliches weißes Tafelglas: 100 kg Sand, 32 kg Glaubersalz, 8 kg Pottasche, 38 kg Kalkstein, 2,25 kg Kohle, 100 kg Glasbrocken; feines französisches, weißes Natron-Tafelglas: 100 kg weißen Sand, 30 kg Soda, 15 kg Kreide, 0,25 kg Braunstein; nordfranzösische Hütten: 100 kg Sand, 35,40 kg Glaubersalz,

25,35 kg Kalkſtein, 1,5—2 kg Kohle, 0,5 kg Braunſtein, 0,5—1 kg Arſenik und Glasbrocken in verſchiedenen Mengen; Kronglas ſetzt man nach Bontemps zuſammen aus 100 kg weißem Sand, 30 kg Pottaſche, 16 kg Soda, 8 kg Kreide, 0,5 kg Arſenik.

Der Schmelzer legt die Rohmaterialien in dem richtigen Verhältnis in die Häfen reſp. in die Wanne ein und überwacht die Schmelze. Iſt die Glasmaſſe in dem Hafen rein geſchmolzen, ſo wird die Ofentemperatur nach und nach herabgemindert, um die Glasmaſſe etwas zäher zu machen. Gleichzeitig wird Gas in die Nebenöfen, die Trommelöfen, geleitet, um dieſelben zur Arbeit gehörig vorzuwärmen. Das Anwärmen der Trommelöfen dauert 2—3 Stunden, da man eine Hitze erzielen muß, die der Ofentemperatur gleich kommt.

Nach dem Abſtehenlaſſen wird die Glasmaſſe ausgearbeitet. Der Arbeiter taucht die Spitze der Pfeife in die Glasmaſſe und dreht ein- oder zweimal um, ſo daß eine kleine Menge Glas an der Pfeife haftet. Durch Rollen und Drücken am Formſtein, ſowie durch ſchwaches Einblaſen wird eine kleine Kugel geformt, welche den erſten Poſten bildet. Dieſer wird nach dem Abkühlen nochmals in die Glasmaſſe getaucht, einigemal herumgedreht und dann mittels hölzerner Handmatzen, die benäßt werden, gerundet; gleichzeitig wird durch Einblaſen die Glaskugel vergrößert. Iſt der zweite Poſten erſtarrt, ſo wird nochmals eingetaucht und abgerundet. Sollen große Walzen hergeſtellt werden, ſo wird noch öfter Glasmaſſe herausgenommen. Zur weiteren Verformung des Glaspoſtens wird denſelben durch Drehung der Pfeife im Fauleiſen die Geſtalt von Abb. 274 der vorſtehenden Figuren gegeben.

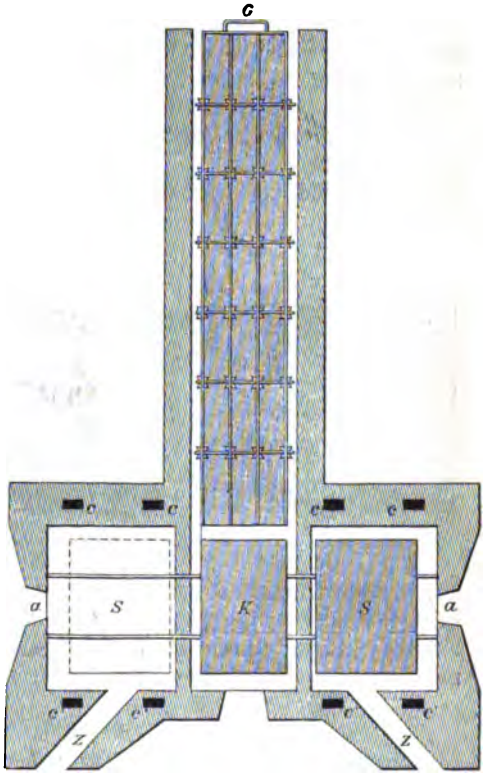
278. Schwenkgruben.

Durch ſchwaches Einblaſen und Heben der Pfeife nach oben, fällt die Glasmaſſe etwas zuſammen und bildet dann Abb. 275. Nach dem erneuten Anwärmen im Trommelofen wird der Poſten durch Einblaſen und Schwenken in den am Ofen befindlichen Schwenkgruben vergrößert und bildet einen länglichen Cylinder. Dieſer wird im Trommelofen nochmals angewärmt und durch erneutes Einblaſen und Schwenken größer gemacht. Iſt die erforderliche Länge erreicht, ſo taucht der Gehilfe ein Hefteiſen in die Glasmaſſe und befeſtigt mit dieſem eine kleine Glasmenge an dem unteren Teile des Cylinders (Abb. 276). Dadurch erweicht die betreffende Stelle an der Wölbung. Die Walze wird ſchnell in den Trommelofen geſchoben und das Mundſtück der Pfeife mit der Hand verſchloſſen. Die in der Walze befindliche Luft dehnt ſich aus und ſprengt die erweichte Spitze auf, wodurch ein kleines Loch entſteht. Die Walze wird aus dem Trommelofen entfernt, die Pfeife in das Fauleiſen gebracht, während der Gehilfe mit der Schere die erweichte Öffnung beſchneidet (Abb. 277). Alsdann kommt der Cylinder nochmals in den Trommelofen, wird langſam gedreht, herausgezogen und in der Schwenkgrube pendelartig geſchwungen, wobei der untere Teil ſich gleichmäßig mit der übrigen Wandung gerade richtet. Die Walze wird nun auf ein Holzbrett geſtellt und von der Pfeife durch Berühren mit einem kalten Streicheiſen abgeſprengt. Iſt die Walze abgekühlt, ſo wird die Kappe ebenfalls abgeſprengt und die Walze von innen der Länge nach mittels Diamant geſchnitten.

Bei der Herſtellung von Überfangglas bildet der Gehilfe das Kölbchen aus dem farbigen Glas, worauf dann dieſes farbige Kölbchen noch 2—3 mal mit gewöhnlichem

Glase überzogen wird. Die Herstellung von Überfangglas ist nicht einfach und erfordert besonders geschulte Arbeiter.

Die aufgeschnittenen Walzen kommen dann in den Streckofen. Dieser besteht in der Regel — seit Beginn des 19. Jahrhunderts sind zahlreiche Systeme hervorgetreten — aus zwei mittels Holz- oder Gasfeuerung geheizten Streckräumen S S, zwischen denen der Kühlofen K liegt. Der Strecker nimmt die vorgewärmte Walze aus dem Zuführungskanale Z, bringt sie auf den auf einem Wagen ruhenden Streckstein S, streckt diese von der Öffnung a aus und schiebt hierauf den Streckstein auf dem Geleise in den Kühlraum K, wobei zugleich der leere Wagen aus dem Kühlraum in den Streckraum S geschoben wird. Hierauf arbeitet er im Raume S, indem er aus dem zweiten Zuführungskanale die Walze nimmt und solche streckt. Unterdessen ist die vorher gestreckte Tafel im Kühlraum so weit erstarrt, daß man sie auf die Sohle des Kühlkanals schieben kann; der Wagen C wird mit der zweiten gestreckten Tafel in den Kühlraum und dadurch auch der leere Wagen aus dem Kühlraum in den Streckraum S gebracht. Durch die Länge des Kühlkanals laufen mehrere verschiedene Rinnen, in denen ein eisernes Rahmenwerk ist, welches auf Rollen ruht. Mittels Hebel werden diese so gehoben, daß das auf ihnen liegende Rahmenwerk die Sohle des Kanals um einige Millimeter überragt. Wird danach eine Tafel in den Kühlkanal geschoben, so bleibt sie an der Stelle einige Zeit liegen. Vor dem Einschieben der zweiten Tafel wird das Rahmenwerk und mit ihm zugleich die Tafel gehoben, beim Griff G um die Länge einer Tafel hinausgezogen, mittels des Hebels wieder versenkt und in die erste Lage wieder zurückgeschoben, so daß die erste Tafel am zweiten Platze des Kühlraums liegt und auf den ersten Platz die nächste Tafel gebracht werden kann. Durch Heben, Hinausziehen und Versenken des Rahmenwerkes rücken die Tafeln vor und zwar in immer kühlere Partien des Kanals, bis sie am Ende ganz gekühlt herausgenommen werden. Einen sehr wichtigen Behelf beim Strecken bildet das Bügelholz. Dieses besteht aus einer etwa 3 m langen, 10 mm starken Eisenstange, an deren Spitze ein 40—45 cm langes und 10—12 cm dickes Holzscheit befestigt ist; am besten ist Pappelholz. Dieses Bügelholz wird nach dem Strecken jeder Tafel in reines Wasser gesteckt und darin gelassen, bis die nächste Walze zu strecken ist. Die Walzen müssen staubfrei sein und nötigenfalls gereinigt werden.



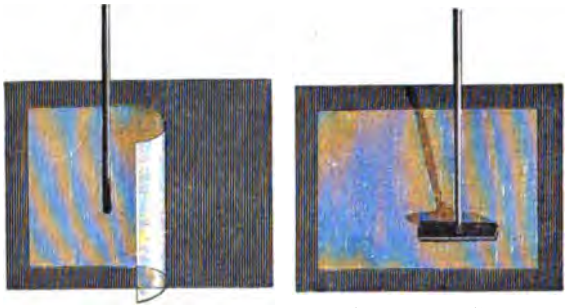
279. Streckofen.

Der Streck- und Kühlprozeß bietet immer noch die größten Schwierigkeiten bei der Tafelglasfabrikation. Die Bedienung des Streckofens erfordert mehrere Arbeiter. Ein Mann ist bei dem Hebelwerk des Kühlkanals mit dem Überlegen der Tafel vom Kühlstein in den Kühlkanal und dem Regulieren der Feuerung beschäftigt; ein zweiter Mann bereitet die Walzen vor, versieht dieselben mit Holzklammern, so daß die Ränder aneinander liegen, bringt sie in den Vorwärmer, von wo sie ein dritter Mann zum Strecken übernimmt. Dieser bringt die Walze mittels des Krappens auf den Streckstein und in die richtige Lage, worauf sie ununterbrochen hin und her gerollt wird. Dabei darf jedoch der aufgesprengte Teil der Walze nicht nach unten kommen und den Streckstein berühren,

da ſonſt von den ſcharfen Schnittflächen Glasſplitter abſpringen und dann an die Tafel anſchmelzen, welche dadurch fehlerhaft wird. Der Arbeiter, der die Walze einlegt, hat ſich ferner davon zu überzeugen, daß die Schnittränder keine Einſprünge zeigen, da dieſe im Streckofen weitergehen würden, ſo daß ſchließlich die Walze in Stücke zerfällt. Solche eingeſprungenen Stellen muß der Glasmacher mit dem Diamant entfernen. Ein Springen der Walze kann ferner noch beobachtet werden, wenn ein Stein in der Walze ſich befindet, dieſelbe ungleich gearbeitet iſt oder die Klammern ſchlecht befeſtigt werden. Im Kühlkanal muß ſtets eine mittlere Temperatur herrſchen. Iſt die Temperatur zu hoch und der Kanal zu kurz, ſo kühlen die Tafeln nicht vollſtändig, ſondern dieſelben ſpringen nach dem Austreten aus dem Kanal. Iſt die Temperatur zu niedrig, ſo ſpringen die Tafeln direkt im Kanal.

Bevor die Tafeln beim Austreten aus dem Kühlofen von den Schienen genommen werden, müſſen ſie von der Flugaſche mit einem Leinwandlappen befreit werden; alsdann wird die betreffende Tafel mit der gereinigten Seite gegen den Stoß geſtellt und nunmehr auch die andere Seite abgeputzt. Kommen die Tafeln angelaufen aus dem Streckofen, ſo werden dieſelben in einem Waſſerbottich mit Bürſten gewaſchen.

Ganz verſchieden von der Herſtellung dieſes ſogenannten Walzenglaſes iſt die des Mondglaſes, das in England noch eine große Bedeutung hat. Der Arbeiter bläſt eine große Hohlkugel mit einem der Pfeife gerade gegenüberſtehenden Knopf und flacht ſie ab; ein zweiter heftet den ſo erhaltenen flachen Hohlkörper mit ſeinem Knopf auf ein Hefteiſen, ſprengt ihn von der Pfeife ab und verſetzt ihn mit dem Hefteiſen in raſche Drehung. Unter wiederholtem Erwärmen ſtreckt ſich dadurch infolge der Einwirkung der Zentrifugalkraft das Glas zu einer gleichmäßig dicken, völlig ebenen kreisrunden Scheibe. Dieſe Tafelglasart zeichnet ſich durch eine ebene reine, ſehr glänzende Oberfläche aus, man verliert aber wegen der kreisrunden Form beim Zerſchneiden in viereckige Tafeln viel Abfall. Mondglas in kleinerem Maßſtab bilden die Butzenſcheiben, die im Mittelalter zum Verglaſen der Fenſter benutzt wurden und in neuerer Zeit wieder aufgekommen ſind.



280 u. 281. Aufrollen und Knopfplatten des Cylinders.

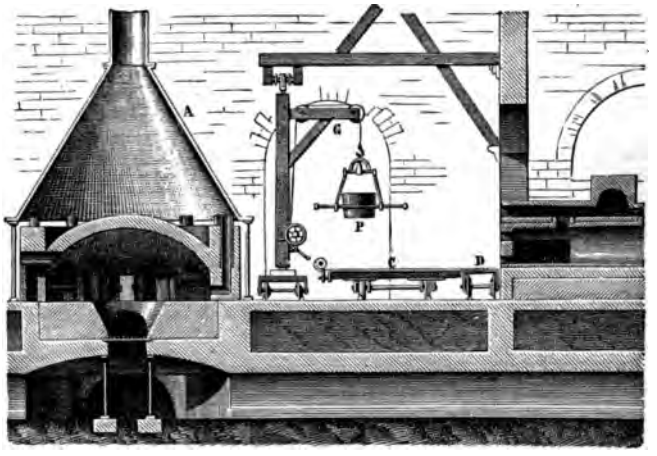
Spiegelglasfabrikation.

Die Spiegelglasfabrikation gilt, wie in der Einleitung erwähnt iſt, als eine deutſche Erfindung, und zwar waren es geblaſene Spiegel, die eine geſuchte Handelsware deutſcher und flandriſcher Herkunft bildeten. Anfang des 14. Jahrhunderts wurden in Venedig die erſten Spiegel hergeſtellt, 1507 die Fabrikation durch dal Gallo weſentlich verbeſſert, 150 Jahre ſpäter ziemlich gleichzeitig in Frankreich und in England eingeführt. Im Jahre 1670 gründete der Herzog von Buckingham mit Hilfe venezianiſcher Arbeiter die erſte engliſche Fabrik geblaſener Spiegel in Lambeth. Gegenwärtig wird das Spiegelglas faſt ausſchließlich im dünnflüſſigen Zuſtand gegoſſen. Wahrſcheinlich hat man ſchon im Altertum dieſe Kunſt geübt, und in England wurden bereits Mitte des 17. Jahrhunderts kleine Tafeln zu Spiegeln durch Guß hergeſtellt. Zu praktiſcher Bedeutung gelangte das neue Verfahren aber erſt durch die Bemühungen des Franzoſen Lucas de Nehou, der 1688 in Tour la Ville bei Cherbourg zuerſt die im Ofen geſchmolzene Glasmaſſe mit dem Schmelzgefäß aus dem Schmelzraum herausnahm, auf einer ebenen Fläche ausſchüttete und die noch flüſſige Maſſe dann mittels einer Walze ausbreitete und glättete. Dieſe Erfindung wurde einer Geſellſchaft auf den Namen Thévarts patentiert, und man gründete eine Fabrik in Paris, die dann nach St. Gobain verlegt wurde und die

Mutter aller Gußglasfabriken der Welt geworden ist. Vor allem war es England, wo die Fabrikation gewalzter Spiegel seit 1773 zu hervorragender Entwickelung gelangte, während in Deutschland erst 1852 die erste Gußspiegelfabrik (zu Stolberg bei Aachen) gegründet wurde.

Ein Haupterfordernis, gutes Spiegelglas herstellen zu können, ist die Reinheit der zur Fabrikation benutzten Rohmaterialien, die besonders frei von Eisenverbindungen sein müssen. In vielen Fällen werden die Rohmaterialien von den Eisenverbindungen befreit und raffiniert. Mit Entfärbungsmitteln arbeitet man in der Spiegelglasfabrikation sehr ungern, da sie die Durchsichtigkeit des Glases zu beeinträchtigen pflegen, und benutzt nur in den seltensten Fällen, um den geringen grünlichen Stich zu beseitigen, Braunstein, Kobalt oder Nickel als Oxyde.

Man gebraucht zur Erzeugung von Spiegelglas den besten weißen Sand, reinen kohlensauren Kalk und gereinigte Soda oder Glaubersalz. In älteren Sätzen für Gußspiegelglas findet man außerdem noch gereinigte Pottasche; diese älteren Sätze bestehen aus: 100 kg weißem Sand, 35 kg reiner Soda, 20 kg Kalkhydrat, 2 kg Salpeter, 0,25 kg Braunstein, 100 kg Glasbrocken bezw. 100 kg weißem Sand, 30 kg reiner Soda, 7 kg gereinigter Pottasche, 16 kg Kalkhydrat, 100 kg Glasscherben.



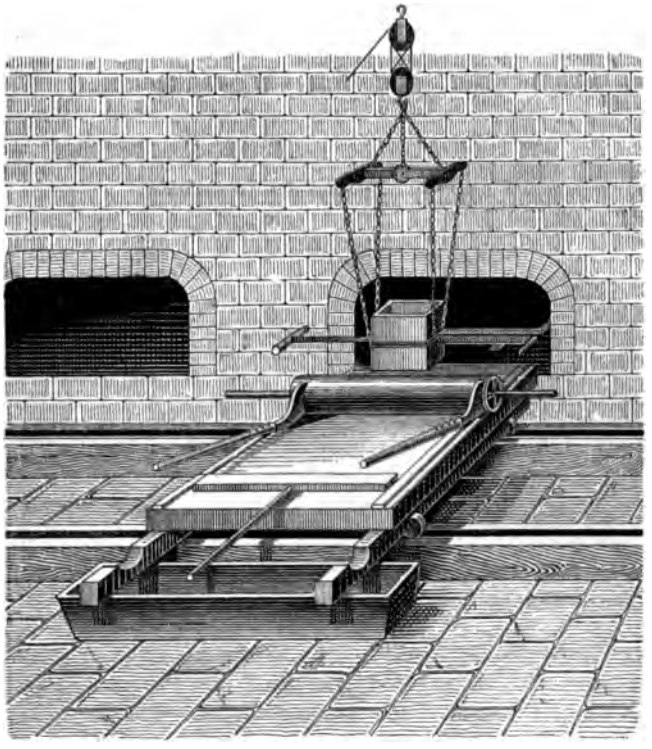
282. Schmelzofen, Gußtisch und Kühlofen in einer Spiegelfabrik.

Die besten und reinsten Spiegelgläser waren durch Einschmelzen folgender Glassätze entstanden: 1) 100 kg reiner Sand, 37 kg kohlensaurer Kalk, 37 kg calc. Glaubersalz, 2,5 kg Kohle, 2 kg Salpeter, 0,25 kg Braunstein. 2) 100 kg reiner weißer Sand, 35 kg gereinigtes Glaubersalz, 26 kg reiner kohlensaurer Kalk, 2 kg Salpeter, 0,25 kg Braunstein. 3) 100 kg Sand, 38 kg Kalkstein, 38 kg Glaubersalz, 2,5 kg Kohle, 0,4 kg Arsenik. Der letzte Glassatz ist am meisten zu empfehlen.

Besonders schönes Glas ergab ein Sodasatz der Gußspiegelglasfabrik von St. Gobain: 100 Teile reiner, weißer Sand, 34,5 Teile reiner, kohlensaurer Kalk, 17,2 Teile gereinigte, calc. Soda.

Nach den neueren Fabrikationsmethoden wird die Glasmasse fast durchweg in Öfen mit Gasfeuerung geschmolzen, und zwar wird das Glas in denselben Häfen geschmolzen, geläutert und später aus dem Ofen genommen. Da das Durchschnittsmaß der herzustellenden Glastafeln etwa 5—6 m Länge, 2—3 m Breite und das Gewicht etwa 800 kg beträgt, so benutzt man Häfen, die wenigstens 1000 kg Glas fassen. In der Regel geschieht das Herausschaffen des Hafens derart, daß unter denselben nach dem Losbrechen von der Hafenbank eine eiserne Schaufel geschoben und der Hafen dann mittels Ziehhaken auf den eisernen Hafenwagen geschafft wird, mit welchem der Transport zum Gußtische erfolgt. Hier wird die Hafenschlinge am Hafen befestigt und letzterer durch Anziehen der Ketten des Kranes entleert; alsdann geht die Walze über die Glasmasse, worauf die Platte von Arbeitern in den Kühlofen geschoben wird, wo dieselbe nochmals erglüht und dann allmählich erkaltet. Die Gußplatte bestand früher aus Bronze, während man heute in den neueren Fabriken abgehobelte gußeiserne 15 cm starke Platten benutzt. Diese Gußplatte ruht auf einem leicht beweglichen Eisenbahnwagen und wird von drei in ihren Achsen rotierenden Kugeln getragen. Die Fortbewegung der Walze wird durch den Kurbelwagen mittels Kolben bewerkstelligt.

Ein Kühlofen faßt in der Regel 6 große Platten, wovon auf die Breite des Ofens je 2, in der Länge 3 Platten liegen. Die Sohle besteht aus feuerfesten Steinen, die sorgfältigst abgeschlossen sind und auf einer Sandunterlage über der gemauerten Unterlage ruhen. Die Fugen der Steine werden gleichmäßig mit feinem Sand ausgefüllt, wodurch beim Erhitzen des Ofens, wobei die Steine sich ausdehnen, eine ebene feste Unterlage für die Gußplatten geschaffen wird. Zum Einführen der Scheiben hat der Kühlofen 3 Öffnungen, welche, mit einem Vorsatzkuchen verstellbar, nach dem Füllen gut verschlossen und verstrichen werden. Bevor die Tafeln eingebracht werden, wird der Ofen durch zwei seitliche Feuerungen bis zur Rotglut erhitzt. Den gefüllten Ofen läßt man 5—6 Tage verschlossen, nach welcher Zeit der Ofen so weit abgekühlt ist, daß man einige Öffnungen frei machen kann. Bei neueren Kühlöfen, die unterhalb der Sohle ein System von Luftzügen aufweisen, die schon nach 48 Stunden geöffnet werden, ist man in der Lage, innerhalb vier bis fünf Tagen vollständig zu kühlen.



288. Gußverfahren.

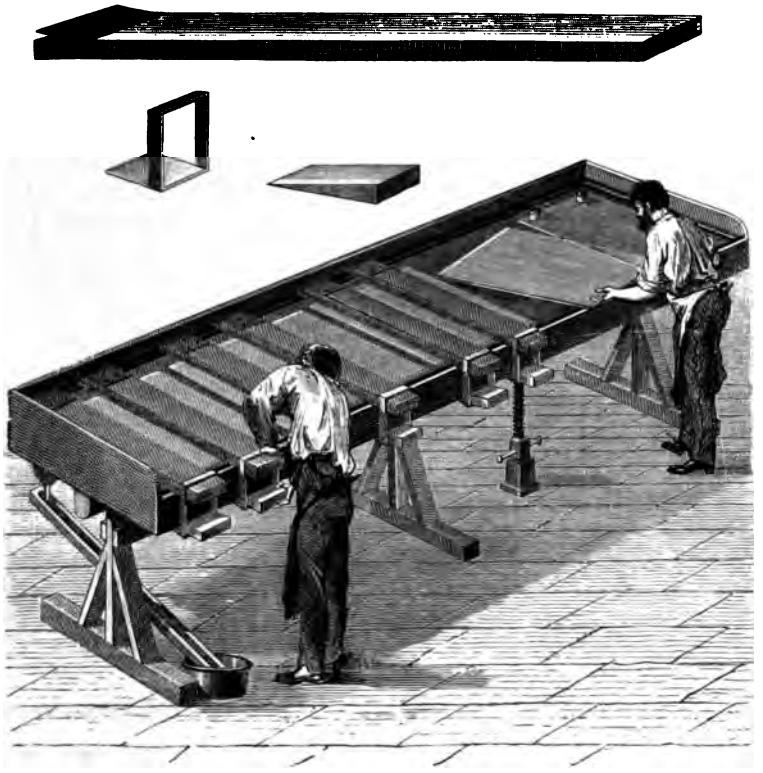
Ist die Kühlung beendet, so wird an der aufgebogenen Kante des Glases der „Ziehhaken" angesetzt und mit dessen Hilfe die Tafel auf einen Holztisch gezogen. Hier wird die Tafel genau besichtigt und etwa vorhandene Sprünge werden mittels Einschneiden mit dem Diamant und Weiterführen mittels Sprengeisen so geleitet, daß möglichst wenig Verluste entstehen. Der aufgebogene Rand wird hier ebenfalls abgeschnitten. Die Tafel wird nun mit Filzhandschuhen aufgehoben und an starken Gurten in die Schneidestube getragen. Aus dem Beschneidezimmer kommen die Tafeln in die Schleifereien, wo sie einer dreifachen Bearbeitung unterliegen.

Durch das Rauhschleifen wird zunächst eine vollkommene ebene Fläche hergestellt. Das Schleifen besorgen Maschinen; das Schleifmaterial ist grobkörniger Sand. Durch das Fein- oder Klarschleifen werden die beim Grobschleifen entstandenen Rauhigkeiten wieder hinweggenommen. Dies geschieht in der Regel durch Handarbeit mittels feinkörnigem Sand oder feinem Schmirgel. Durch das Polieren endlich erhält die durch Schleifen rauh gewordene Oberfläche den Glanz wieder; man bedient sich hierzu des Eisenoxyds oder des Zinnoxyds. In neuerer Zeit wird auch die Arbeit des Feinschleifens und Polierens von Maschinen übernommen. Nach dem Polieren werden die Tafeln in ein dunkles Zimmer gebracht und nochmals bei einer Lampe genau besichtigt und nach ihren Dimensionen, etwaigen Fehlern u. s. w. für den Verkauf eingeordnet.

Man benutzt das Spiegelglas zur Verglasung von Schaufenstern oder zu Spiegeln. Auch das für Dachdeckung und undurchsichtige Fensterverglasung verwandte sogenannte Rohglas ist ein gegossenes Glas, das, um Blasen und andere Fehler weniger auffällig

zu machen, mit einem aus feinen erhabenen Strichen oder aus Rauten bestehenden Muster, dessen Linien in den Gußtisch eingegraben sind, versehen wird.

Sollen die polierten Glastafeln als Spiegel Verwendung finden, so versieht man sie auf einer ihrer Flächen mit einem metallischen Überzuge, man „belegt“ sie. In früherer Zeit wandte man hierzu Bleifolie an, die später durch das Zinnamalgam besonders für größere Spiegel ersetzt wurde. Das Belegen mit Zinnamalgam besteht im wesentlichen darin, daß das Amalgam gleichmäßig auf die Fläche aufgetragen wird. Hierzu bedient man sich des Belegtisches. Um dem Belag mehr Haltbarkeit zu geben, überzieht man denselben mit Firnißanstrichen, für welche es mehrere Vorschriften gibt. Da das Arbeiten mit Quecksilber für die Gesundheit der Arbeiter außerordentlich nachteilig ist, so war man schon früher darauf bedacht, das Amalgam durch andere Metalle



284. Belegen der Spiegelplatten.

zu ersetzen. Man war mit Erfolg bemüht, das Silber in die Spiegelfabrikation einzuführen. Die Methoden zur Herstellung des Silberspiegels sind im wesentlichen folgende: Das Silber wird aus den Lösungen gewisser Silbersalze durch die reduzierende Eigenschaft organischer Substanzen in glänzender Schicht auf dem zu belegenden Gegenstand ausgeschieden. Bevor das Glas versilbert wird, muß dasselbe sorgfältigst gereinigt werden. Man kann sich dazu einer 0,5prozentigen Lösung von Seignettesalz in Wasser bedienen. Als Versilberungsflüssigkeit wird dann benutzt: eine Lösung von salpetersaurem Silber, der so lange Ammoniakflüssigkeit hinzugesetzt wird, bis ein brauner Niederschlag zu entstehen anfängt, worauf filtriert wird. Eine gewisse Menge der Lösung, die etwa 30 g Silbersalz enthält, wird mit einer Lösung von 14 g Seignettesalz vermischt und diese Mischung, sobald sie sich zu trüben beginnt, auf die Glasplatte ausgegossen. Nach 2 Minuten beginnt die Silberausscheidung, die nach 30 Minuten beendet ist. Die Tafel wird dann abgespült und mit Firniß überzogen.

Zur Verſilberung von großen Spiegeln ſchlägt Benrath vor: 1) 800 g Höllenſtein, 1200 g ſalpeterſaures Ammoniak in 10 l Waſſer aufgelöſt; 2) 1300 g kauſtiſches Natron (chlorfrei) in 10 l Waſſer aufgelöſt; 3) 150 g Hutzucker und 15 g kryſtalliſierte Weinſäure werden in 0,5 l Waſſer gelöſt; die Löſung läßt man eine halbe Stunde ſieden, wobei verdampfendes Waſſer erſetzt wird, und verdünnt ſchließlich auf 4200 ccm. Die Verſilberungsflüſſigkeiten 1 und 2 werden zu gleichen Teilen vermiſcht und mit Waſſer verdünnt längere Zeit ſtehen gelaſſen, bis ſich ein ſchwacher Niederſchlag abgeſchieden hat. Für jeden qcm Verſilberungsfläche mißt man nun 1,5 ccm Verſilberungsflüſſigkeit ab und gibt 10% der Reduktionsflüſſigkeit 3 hinzu. Iſt der erſte Silberüberzug zu ſchwach, ſo kommt ein zweiter darüber.

Statt des Silberbelages ſind auch Platin und Gold angewandt worden, von denen das Gold in ähnlicher Weiſe wie das Silber auf der Glasplatte erzeugt wird, während das Platin in dünner Schicht aufgebrannt wird.

Farbige Gläſer.

Zum Färben der Gläſer benutzt man — wie bereits erwähnt — die verſchiedenſten Metalloxyde und in letzter Zeit außerdem noch die Selenite und die Selenate. Gold und Silber, ſowie auch Kupfer wirken außerdem als Metalle. Ferner bedient man ſich zur Herſtellung der undurchſichtigen weißen Gläſer des phosphorſauren Kalkes in Form von weißgebrannten Knochen oder von Guano. Die Alabaſter- und Reisgläſer dagegen verdanken ihre Trübung den Entglaſungserſcheinungen und einer Thonerdeausſcheidung.

Es wurde bereits hervorgehoben, daß gewiſſe Metalle in ihren verſchiedenen Oxydationsſtufen den Gläſern verſchiedene Färbungen erteilen. Will man daher Gläſer vermittelſt der niedrigſten Oxydationsſtufe färben, ſo hat man dafür zu ſorgen, daß das betreffende Färbemittel ſich im Glasfluſſe nicht höher oxydiert d. h. nicht mehr Sauerſtoff aufnimmt. Zu dem Zwecke ſetzt man dem Glaſe in dieſen Fällen Reduktionsmittel zu, in der Regel metalliſches Zinn oder Eiſenoxydul (Hammerſchlag) oder Kohle.

Man erhält blaues Glas durch Kobalt und Kupferoxyd. Gelbes Glas durch Silber, eiſenhaltiges Manganoxyd, Chromoxyd, Uranoxyd und kohlenſtoffhaltige Körper. Grünes Glas durch Chromoxyd, Kupferoxyd, Eiſenoxyd, Uranoxyd oder durch Vermiſchen von au und Gelb. Violettes Glas durch Manganoxyd, Goldoxyd und durch Vermiſchen von Rot und Blau. Rotes Glas durch Gold, Mangan, Silberoxyd, Kupfer und Eiſenoxyd. Weißes Glas durch Zinnoxyd und Knochenaſche. Schwarzes Glas oder die neutralen Farben durch Vermiſchen mehrerer der genannten Färbemittel oder durch Zuſatz von Eiſen und Braunſtein im Überſchuß, auch mit Hilfe von Lava, Schlacken, Baſalt.

Die Herſtellung der gefärbten Gläſer iſt lange nicht ſo ſchwierig wie die eines vollkommen farbloſen Glaſes, doch ſtoßen die Fabrikanten auch bei Herſtellung der farbigen Gläſer oft auf Schwierigkeiten.

Im folgenden ſeien einige ältere und neuere Sätze zur Herſtellung von farbigen Gläſern angegeben:

Blaues böhmiſches Glas zu Trinkgeſchirren ſtellt man her aus einem Gemenge von 100 kg weißem Sand oder Quarz, 32 kg gereinigter Pottaſche, 12 kg gelöſchtem Kalk, 3 kg Schmalte, 2 kg Kochſalz, 0,25 kg Arſenik, 100 kg blaue Glasabfälle, oder ohne dieſe 6 kg Schmalte. — Rötlich violettes Glas zu Trinkgefäßen (Böhmen) aus 100 kg Sand, 40 kg gereinigter Pottaſche, 13 kg zerfallenem Kalk, 2 kg Salpeter, 2 kg Mennige, 0,25 kg Arſenik, 100 kg violetten Glasabfällen, 2 kg Braunſtein mit 4 kg gemahlenem Glaſe vermengt. — Violettes Fenſterglas aus 100 kg weißem Sand, 2 kg Mennige, 10 kg Braunſtein, 30 kg Soda, 100 kg gemahlenem Glas, 2 kg Salpeter.

Grünes Glas. Grünlich gefärbtes Glas erhält man beim Einſchmelzen eiſenhaltiger Rohmaterialien, denen keine Entfärbungsmittel zugeſetzt ſind. Zum Färben der grünen Gläſer kann daher in erſter Linie Eiſenoxydul verwandt werden. Setzt man dem eiſenhaltigen Glaſe eine gewiſſe Menge Braunſtein hinzu, ſo erhält man die bräunlich gefärbten Glasflüſſe, die in verſchiedenen Nüancen zur Herſtellung von Flaſchenglas und Trinkgläſern benutzt werden. Zur Fabrikation grün gefärbter Gläſer bedient man ſich außerdem des Kupferoxyds, welches zuerſt Heraclius erwähnt in Gemeinſchaft mit Eiſenoxydul oder des Chromoxyds mit jenem. Will man ein bläuliches Grün hervorrufen, ſo gibt man der Maſſe noch eine Spur Kobaltoxyd hinzu. Bei Anwendung des Kupferoxyds iſt dafür Sorge zu tragen, daß die Glasmaſſe die genügende Menge oxydierender Subſtanzen enthält und außerdem jede Reduktion auf das ſorgfältigſte vermieden wird. Geſchieht dieſes nicht, ſo wird das Kupferoxyd zu Metall reduziert, ſo daß ſich die Maſſe rot färbt. Zum Färben des Glaſes durch Chrom wendet man

weniger das Oxyd als die Alkalisalze desselben an, und zwar mit Vorliebe das gelbe und rote chromsaure Kali; ersteres ist das neutrale chromsaure Salz, letzteres das saure Salz. Aber auch diese Salze müssen äußerst fein in den Massen verteilt werden, wenn man die gewünschte Wirkung erzielen will. Der Zusatz der Chromsalze oder des Oxydes darf aber nicht zu hoch bemessen sein, da die kieselsauren Verbindungen nur eine bestimmte Menge aufzulösen vermögen, während das Überschüssige ungelöst abgeschieden wird und so zur Bildung des Chromaventuringlases beiträgt. Eine gelblich-grüne Färbung wird dem Glase durch Zusatz von Uranoxyd erteilt.

Nach Bontemps und Henrivaux sind folgende Gemenge für grünes Glas zu Trinkgläsern angewandt worden: ein Satz von 100 kg Sand, 30 kg Pottasche, 10 kg Mennige, 12 kg zerfallenem Kalk, 4 kg Kupferoxyd oder gewaschenem, calciniertem und gemahlenem Kupferhammerschlag, 1 kg Eisenoxyd oder Eisenhammerschlag; für grünes Glas in offenen Häfen 260 kg Sand, 110 kg Soda, 55 kg kohlensaurer Kalk, 0,5 kg Natronsalpeter, 0,5 kg Kupferoxyd, 1 kg Kaliumbichromat. Nach der Patentschrift Nr. 73348 aus dem Jahre 1893 stellte man Gläser mit einem grünlichen Stich her mittels Selen- oder Uranoxyd; diese Gläser besitzen jedoch nur im auffallenden Lichte einen grünlichen Stich, während sie im durchscheinenden Lichte orangegelb gefärbt sind. Die Mengenverhältnisse, die von Selen- und Uranoxyd nötig sind, um die gewünschten Färbungen hervorzurufen, werden am zweckmäßigsten zunächst in einer kleinen Probeschmelze festgestellt.

Gelbgefärbte Gläser. In der Masse gelbgefärbte Gläser herzustellen, ist verhältnismäßig schwierig, wenigstens ist es durchaus nicht leicht, stets Glas von derselben Färbung und Reinheit zu schmelzen. Man benutzt dazu Uranoxyd, das ein gelblich-grünes Glas gibt, und Eisenoxyd mit einem Zusatz von Manganoxyd. Nach den Versuchen von Ebel erhält man durch Silber in der Masse gelb gefärbte Gläser, doch benutzt man das Silbergelb fast ausschließlich als sogenannte Lasur. Zur Gelbfärbung des Glases verwendet man ferner noch den Schwefel oder Schwefelverbindungen, die durch Reduktion aus den schwefelsauren Salzen der Glasmassen entstehen. Enthalten die Gemenge keine Schwefelverbindungen, so setzt man denselben Schwefelblumen zu. Aber auch mit Hilfe der Reduktionsmittel und des Schwefels lassen sich Farben von einer bestimmten Tönung nicht herstellen, da sich — das eine Mal mehr, das andere Mal weniger — ein Teil des Schwefels oder der Schwefelverbindung oxydiert. Außerdem bedient man sich des Kadmiumsulfits oder des Oxydes, wobei man dann den Gläsern gleichzeitig Uranoxyd hinzusetzt. Oben wurde bereits erwähnt, daß man mit Selen- und Uranoxyd ein Glas erhalten kann, das im durchscheinenden Lichte orangegelb, im auffallenden Lichte grünlich-gelb gefärbt ist. Für ein bestimmtes Gelb lassen sich eigentlich keine Glassätze angeben, da es darauf ankommt, ob beim Einschmelzen der Gemenge eine reduzierende oder oxydierende Atmosphäre vorherrschend gewesen ist. In allen Fällen empfiehlt es sich, um eine möglichst konstante Färbung zu erhalten, in bedeckten Häfen zu schmelzen. Gemenge für goldgelbes Fensterglas sind 100 kg Sand, 2 kg Kohle, 35 kg Glaubersalz, 20 kg Kreide, 100 kg Glasbrocken; nach Entfernung der Glasgalle werden der geschmolzenen Masse noch 10 kg gemahlenes Glas, 10 kg Braunstein, 10 kg Knochenasche, 10 kg Eisenvitriol hinzugesetzt, und zwar nachdem das Glaspulver, der Braunstein, Knochenasche und Eisenvitriol sorgfältigst vermischt sind; für gelbes Tafelglas: 100 kg Sand, 45 kg Soda, 35—40 kg Kreide, 4 kg Sägemehl oder 100 kg Sand, 28 kg Soda, 20 kg Pottasche, 40 kg Kreide, 4 kg Sägemehl. Das Antimonoxyd, das in Bleiglasuren zum Gelbfärben benutzt wird, ist zum Gelbfärben von Glas, selbst mit Zusatz von Bleioxyd, nicht zu gebrauchen, da die gelbe Färbung des antimonsauren Bleioxyds bei höherer Temperatur zerstört wird. Dagegen scheint das Kadmiumoxyd zum Gelbfärben der Gläser gebraucht werden zu können, zumal da Analysen von gelben Gläsern immer, wenn auch geringen Gehalt an Kadmium ergeben haben. Die für Kadmiumgläser gebrauchten Sätze sind sehr kompliziert und dem folgenden ähnlich zusammengesetzt: 100 kg Sand, 30 kg gereinigte Pottasche, 15 kg Mennige, 10 kg zerfallenen Kalk, 6 kg Salpeter, 1 kg Borax, 1 kg Weinstein, 1 kg phosphorsauren Kalk, 0,5 kg Schwefelnatrium, 3 kg Kadmiumsulfit. Am weitaus häufigsten wird jedoch das gelbe Glas als Überfangsglas oder Lasur mit Chlorsilber hergestellt.

Rotes Glas. Zum Rotfärben der Glasmasse dient in erster Linie das Kupfer, dann das Gold als Goldpurpur. In neuerer Zeit sind außerdem die Selenite und Selenate zur Herstellung von roten Gläsern empfohlen worden, sowie alle anderen Selenverbindungen, die in der Glasmasse reduziert werden. Die goldgefärbten Rubingläser werden zuerst im 16. und 17. Jahrhundert erwähnt; doch ist nachweislich wirkliches Rubinglas mit Gold zuerst von dem Schleswiger Kunckel hergestellt worden, welcher, von dem Großen Kurfürsten Friedrich Wilhelm als Alchemist berufen, zwar den Stein der Weisen nicht fand, aber sich verdient machte durch Herausgabe eines Werkes über Glasmacherkunst und wertvolle Erfindungen auf diesem Gebiete; von 1679—1688 leitete er die Glashütte auf der Pfaueninsel bei Potsdam. Die später veröffentlichten Rezepte zur Herstellung von Rubinglas nach Kunckel sind vollständig wertlos, denn Kunckel hat, wie er in seiner „Ars vitraria experimentalis“ mitteilt, nicht die Absicht gehabt, die Rezepte preiszugeben. Rubinglas besteht nach Cohn aus 100 kg Sand, 125 kg Mennige, 25 kg Pottasche, 16,6 kg Salpeter, 0,0115 kg Gold. Die verschiedenen Tönungen in der Färbung der Goldrubingläser, die einen mehr oder weniger

gelblichen oder orangefarbenen Stich haben, werden durch einen Zuſatz von durch Silber gelb gefärbten Glaszapfen hervorgerufen. Dieſer Silberzuſatz oder ein ſolcher von antimonſaurem Bleioxyd beträgt auf einen Hafen etwa 2—4 kg, und er wird in den Hafen vor der vollſtändigen Läuterung gethan.

Durch die Unterſuchungen und Verſuche von Müller und Ebel wurde dargethan, daß nicht nur das Gold von dem Glaſe gelöſt wird, ſondern daß auch die Glasmaſſen gute Löſungsmittel für andere Metalle ſind, ſo hauptſächlich außer Gold für Kupfer, Blei und Silber. Die Metalle, die ſich bei höheren Temperaturen in der Glasmaſſe — beſonders wenn dieſe bleihaltig iſt — gelöſt haben, ſcheiden ſich beim Erkalten wieder ab. Je nachdem der Erſtarrungsprozeß nun langſamer oder ſchneller vor ſich geht, erhält man größere oder kleinere Metallflitter ausgeſchieden. Bei der Herſtellung von Rubingläſern iſt es nun erforderlich, daß die Abkühlung möglichſt raſch vor ſich geht und ſo die Metallflitterchen in äußerſt feiner Form abgeſchieden werden. Dieſe äußerſt feine Abſcheidung bewirkt, daß das Glas dem Auge gleichmäßig gefärbt erſcheint. Durch ſorgfältiges, genau abgepaßtes und raſches Abkühlen oder durch Erhitzen der farblos erſtarrten Schmelzen erhält man mit Gold und Kupfer rotes Glas, durch Silber gelbes, und durch Blei ſchwarz gefärbte Gläſer.

Bei der Herſtellung von Kupferrubinglas gibt man entweder dem Gemenge unmittelbar das Färbmittel hinzu, oder man ſchmilzt die Farbe in einem beſonderen Gemenge für ſich und vermengt ſpäter die gefärbte Maſſe mit der farbloſen. Ein Satz für Kupferrubinglas iſt nach Engelhardt: 150 kg Kryſtallgemenge, 4 kg Kupferoxydul, 4 kg Zinnoxydul; ein anderer 750 kg weißer Glasſatz, 10 kg Zinnoxydul, 1,5 kg Eiſenoxydul, 1,5 kg Kupferoxydul; dieſer Glasſatz liefert ſcharlach- und feuerrotes Glas, bei welchem Zinn und Eiſen dem Gemenge von vornherein zugegeben werden, wohingegen das Kupfer erſt nach dem Läutern zugeführt wird.

Rote maſſive und Überfanggläſer ſtellt man her aus 100 kg Sand, 28 kg kohlenſaurem Natron, 24 kg zerfallenem Kalk, 8 kg Mennige, 100 kg Glasbrocken, 4 kg Kupfervitriol, 5 kg Eiſenvitriol, 5 kg Zinnoxydul, oder 100 kg Sand, 40 kg Pottaſche, 18 kg zerfallenem Kalk, 4 kg Mennige, 100 kg Glasbrocken, 4 kg Kupfervitriol, 4 kg Eiſenvitriol, 5 kg Zinnoxydul. Der zu verarbeitende Sand wird mit der Löſung des Kupfer- und Eiſenvitriols getränkt und dann nach dem Trocknen mit den anderen Gemengteilen vermiſcht. Man erhält dann ein gutes Überfangglas, das jedoch für ſich zu dunkel iſt. Zur Herſtellung eines maſſivroten Glaſes gibt man daher zweckmäßig noch 100 kg Glasbrocken hinzu.

Ein deutſches Kupferglas wurde bereitet aus 100 kg Sand, 25 kg Mennige, 20 kg Pottaſche, 10 kg Borax, 5 kg Zinnſalz, 2,5 kg Kupferoxydul, 0,2 kg rotes Eiſenoxyd, 2,5 kg Braunſtein, 0,5 kg gebrannte Knochen. Dieſe Mengenverhältniſſe werden im Glasofen geſchmolzen, alsdann ausgeſchöpft und nach dem Abſchrecken auf dem Pochwerke zerkleinert. Im weiteren kommen dann zu 120 kg Glasmaſſe, 1 kg Kupferoxydul, 1,5 kg Zinnaſche, 0,5 kg Weinſtein. Dieſe Materialien werden mit der Glasmaſſe ſorgfältigſt gemiſcht, in den Hafen eingelegt und beim Schmelzen einige Mal geblaſen. Vorteilhaft iſt es nach dem Schmelzen, das Glas nochmals auszuſchöpfen und von neuem einzuſchmelzen. Sollte die rote Farbe mehr in orange übergehen, ſo werden 120 kg eines oben angegebenen Glasſatzes vermiſcht mit 1 kg Kupferoxydul, 1,5 kg Zinnaſche, 0,5 kg rotem Eiſenoxyd, 0,5 kg rotem Weinſtein. Das Einſchmelzen geſchieht wie vorher.

Die meiſten Fabriken ſchmelzen ihr Kupferglas aus zwei Gemengen, von denen das eine farblos iſt, während das zweite Gemenge die färbenden Materialien enthält. Von den vielen Vorſchriften in zwei Gemengen ſei hier nur ein Beiſpiel erwähnt: Farbloſes Gemenge: 50 kg Sand, 14 kg Pottaſche, 14 kg Kaliſalpeter, 14 kg Mennige; gefärbtes Gemenge: 50 kg Sand, 30 kg Borax, 10 kg Pottaſche, 10 kg Mennige, 2 kg Kupferoxydul, 2 kg Zinnoxydul, 1 kg Weinſtein. Jeder Glasſatz wird für ſich geſchmolzen, worauf man dann die beiden abgeſchreckten und klein gepochten Sätze zuſammengibt und einſchmilzt. Die Herſtellung von Überfangglas aus Kupferrubin iſt überaus ſchwierig und erfordert ſehr geſchickte Arbeiter.

Schwarzes Glas. Um Gläſer dem Auge ſchwarz erſcheinen zu laſſen, braucht man für gewöhnlichere Gegenſtände einen Überſchuß der mit Eiſenoxyd ſtark verunreinigten Hochofenſchlacken, Schwefelkiesabbrände, Eiſenerze, Granit, Laven und Baſalte. Für beſſere Sorten die Oxyde des Eiſens, Mangans, Kupfers, Kobalts und Nickels. Feine Sachen ſtellt man in der Regel aus Bleikryſtall her, z. B. Perlen, Schnallen, Knöpfe, Schmuckgegenſtände. Für gewöhnliche Zwecke dienen die Alkalikalkgläſer als Ausgangsmaterialien, denen Hoch- und Schweißofenſchlacken hinzugeſetzt werden. Zur Fabrikation der grauen Gläſer, z. B. für Schutzbrillen u. ſ. w. dienen ebenfalls Gemenge von Braunſtein, Kupferoxyd, Eiſenoxyd. Als Beiſpiele für Glasſätze zur Herſtellung von ſchwarzen Gläſern mögen folgende dienen: für ſchwarzes Glas, ſogenanntes Achatglas, das zur Herſtellung von Schmuckgegenſtänden benutzt wird, mengt man auf 100 kg Sand, 36 kg Pottaſche, 13 kg zerfallenen Kalk, 10 kg Kupferoxyd, 10 kg Eiſenoxyd, 10 kg Braunſtein und 10 kg Kobaltoxyd oder Safflor; zur Herſtellung gewöhnlichen ſchwarzen Glaſes werden geſchmolzen: 100 kg Sand, 50 kg Pottaſche oder 35 kg Soda, 10 kg zerfallener Kalk oder bei Anwendung von Soda 18 kg Kalk, 70 kg gemahlenes Glas. Alsdann werden noch hinzugefügt: 5 kg Kobaltoxyd, 10 kg

Braunstein, 5 kg Eisenoxyd (Eisenhammerschlag), 8 kg Kupferoxyd. Ein neutrales Glas für Schutzbrillen wird erhalten nach Bontemps aus 100 kg Sand, 50 kg Mennige, 28 kg Pottasche, 10 kg Soda, 4 kg Braunstein, 3 kg Eisenoxyd, 2 kg Kupferoxyd, oder aus 100 kg Sand, 14 kg Pottasche, 3 kg Soda, 16 kg Mennige, 2 kg Braunstein, 1 kg Eisenoxyd, 1 kg Kupferoxyd, 2 kg Salpeter. Vielfach werden auch als Färbemittel erhebliche Mengen von Kienruß empfohlen, doch ist diese Art zu färben nicht anzuraten, da durch diesen Zusatz das Glasgemenge stark verunreinigt wird.

Getrübte Gläser. Die leicht getrübten Gläser sind unter dem Namen Milch-, Bein-, Alabaster- und Reisglas bekannt. Dieselben sind durchscheinend bis undurchsichtig und opalisierend; sie werden zu Lampenschirmen und Glocken, Vasen, Flacons und Luxusgegenständen verarbeitet. Schon von den Alten geübt und in Rom besonders beliebt, wurde diese Richtung in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts in Böhmen herrschend, begünstigt durch die Erfindungen Fr. Egermanns in Blottendorf bei Haida, der, nachdem er seit 1810 mattiertes gewöhnliches Kreideglas als „Achatglas", farbiges und weißes Beinglas als „Biskuit- und Alabasterglas" eingeführt, 1824 ein Patent auf ein Edelsteinglas erwarb, das er Lithyalin nannte, sowie besonders Wilhelm Kraliks, der um 1840 auf den Johann Meyerschen Fabriken bei Winterberg Alabasterglas und andere milchig-opake Glasarten, Aquamarin oder Türkis, Beryll, Mattrosa oder Alabasterrosaglas neu herstellte; ebenso erzeugte man 1830 auf der gräflichen Buquoyschen Fabrik Silberberg in vorzüglicher Weise das schwarze obsidianartige Glas der Alten (Hyalitglas), sowie zinnoberrotes und achatartiges Glas. Man erzielte bald teils durch Überfangen, teils durch Farben in der Masse völlig undurchsichtige, grüne, gelbe, blaue und violette Glasarten, ja man fand ein völlig sattes weißes Email, das als Überfang von Krystallglas verwendet, dieses dem Porzellan ähnlich machte, vernachlässigte aber das der Glasindustrie mehr zukommende Gebiet, durchsichtige farbige Gläser zu erzeugen. In Österreich ist durch die Bemühungen des 1864 gegründeten österreichischen Museums für Kunst und Industrie ein Umschwung eingetreten, besonders gefördert durch Lobmeyer, der mit Benutzung der besten Muster und durch Schaffung neuer Arten das transparente Farbenglas wieder zur Geltung brachte. In Frankreich beherrscht noch heute das opake Farbenglas den Markt. Die Trübung der Gläser wird entweder durch den früher beschriebenen Entglasungsprozeß hervorgerufen, oder aber durch Einführung von Knochenasche, Zinnoxyd, Thonerde und fluorreicher Verbindung in die Glasmasse. Die Zusammensetzung des Gemenges ist in ersterem Falle so gewählt, daß die Entglasungserscheinungen bei richtiger Behandlung der Schmelze zu Tage treten müssen; dabei sei bemerkt, daß die Natrongläser nicht zum Entglasen kommen, selbst bei vollständiger Abwesenheit von Kalk, während man bei Verwendung von Pottasche gute Resultate erzielt. Bei der Färbung der Alabastergläser muß man die durch die Trübung veränderten Töne der betreffenden Färbmittel berücksichtigen. Eine stärkere Trübung zur Herstellung der Bein- und Milchgläser wird durch Zusatz von Zinnoxyd oder phosphorsaurem Kalk als gebrannte Knochen oder Guano hervorgerufen. Die Wirkung des Zinnoxydes ist dieselbe wie die des phosphorsauren Kalkes; beide lösen sich in der flüssigen Masse auf, scheiden sich aber beim Erkalten zum Teil wieder ab, so die Trübung hervorrufend. Das mit Zinnoxyd, Knochen- oder Guano getrübte Glas braucht nicht mehr ausgeschöpft zu werden, verlangt jedoch ein flußmittelreiches Gemenge, eine sorgfältige Behandlung während der Schmelze und wenig Bearbeitung durch Blasen.

285. Becher aus Kunckelglas mit Hochschnitt.
Potsdamer Arbeit (Ende des 17. Jahrh., jetzt im Hamburger Museum für Kunst und Gewerbe). 3/4 natürl. Gr.

Die Milchgläser werden sowohl als Bleigläser, wie auch als Alkalikalkgläser hergestellt; der Kalkgehalt ist jedoch gering und der Gehalt an sonstigen Flußmitteln hoch, da die Gläser durch die trübenden Substanzen schwerer schmelzbar werden. Den Kalkgehalt des Zuschlages

muß man bei der Zuſammenſtellung des Glasſatzes in Rechnung ziehen, und je nach der Höhe des Zuſchlages weniger Kalk in die Glasmaſſe hineinbringen. Gute Gläſer erzeugt man z. B, wenn man auf 100 Gewichtsteile Sand 40 Gewichtsteile reine Pottaſche, 6 Gewichtsteile gebrannte Knochen, 4,5 Gewichtsteile Federweiß (Asbeſt) und 0,5 Gewichtsteile Arſenik nimmt. Ein anderes Opalglas wird bereitet aus 200 kg weißem Sand, 132 kg Pottaſche, 120 kg gemahlenem Weißglas, 16 kg zerfallenem Kalk, 8 kg Knochenaſche, 6 kg Arſenik. Das Gemenge wird ebenfalls zweimal eingeſchmolzen und nach dem erſten Male abgeſchreckt. Die Hitze beim zweiten Schmelzen darf nicht ſo hoch ſein. Nach Schür wird ein Milchglas mit Guano bereitet aus 100 kg Sand, 40 kg 90% Pottaſche, 5,5 kg Soda, 4,4 kg Kochſalz, 3,3 kg Salpeter, 11 kg Mennige, 33,3 kg calciniertem Bakerguano, 0,28 kg Braunſtein, 1,7 kg Borax. Dieſes Gemenge wird in bedeckten Häfen 10—12 Stunden geſchmolzen, vor beendeter Läuterung mit der Kartoffel geblaſen und wie gewöhnlich ausgearbeitet. Außer in Weiß kommt auch dieſe Glasſorte farbig vor. So bezeichnet man mit Türkisglas das blaue, mit Chryſopras das gelblich-grüne Alabaſterglas. Milchglas wird außerdem in Gelb, Braun, Roſa und Grau hergeſtellt.

Nach den ſechziger Jahren führte ein neues Material, Kryolith, in der Milchglasfabrikation einen bedeutenden Umſchwung herbei. Dieſes hauptſächlich in Grönland gewonnene Mineral iſt eine Verbindung von Natrium, Aluminium und Fluor und wurde zuerſt in Amerika zur Herſtellung von Milchgläſern benutzt, und zwar ſtellte man zwei Sorten von Milchglas her, von denen die eine einen Zuſatz von reinem, die andere einen Zuſatz von unreinem Kryolith erhielt, wodurch die letztere Sorte ihre Färbung bekam. Nach den Mitteilungen von Hagemann und Jörgenſen wurde das weiße Milchglas hergeſtellt aus 10 kg Quarzſand, 4 kg Kryolith, 9 kg Zinnweiß neben den erforderlichen Mengen an Flußmitteln. Dieſes Gemenge wurde wie gewöhnlich eingeſchmolzen, wobei eine ſtarke Entwickelung von Fluorſilicium beobachtet wurde. Das ſo hergeſtellte Glas zeichnete ſich durch große Widerſtandsfähigkeit, ſchönen Glanz und große Härte aus. Über die Zuſammenſetzung der aus Kryolith hergeſtellten Gläſer liegen verſchiedene Reſultate vor, und nach denſelben wird die Wirkungsweiſe des Fluors verſchieden erklärt. Eine ganze Reihe von Jahren war der Kryolith das beliebteſte Mittel, um Milchgläſer herzuſtellen, obwohl man häufig auf Fabrikationsſchwierigkeiten ſtieß, indem die Häfen ſehr ſtark angegriffen wurden. Kryolithſätze, welche ſich bei richtiger Behandlung gut bewährt haben, ſind 100 kg Sand, 16 kg Soda, 8 kg Alaunerde, 14 kg Kryolith, 4 kg Mennige, 6 kg Kalk, 4 kg Salpeter.

In den achtziger Jahren iſt jedoch der Preis des Kryoliths ſo bedeutend in die Höhe gegangen, daß ſich die Fabrikanten genötigt ſahen, ein anderes Trübungsmittel zu wählen. Bei verſchiedenen Schmelzverſuchen hat ſich dann herausgeſtellt, daß der beſte Erſatz für Kryolith die Mineralien Feldſpat und Flußſpat ſind. Beide ſind in reichem Maße in der Natur vorhanden und werden jetzt vielfach verwandt. Um die richtige Trübung zu erzeugen, gebraucht man von dieſen Materialen erheblich mehr als vom Kryolith, auch iſt der Kalkgehalt des Flußſpates für die Trübung teilweiſe nachteilig. Gewöhnlich verwendet man auf 100 kg Sand 20 kg Flußſpat reſp. 40 kg Feldſpat zur Erzeugung von Milchgläſern. Hat man einen thonerdearmen Feldſpat zur Verfügung, ſo ſetzt man Thonerde in Form von Alaunerde oder geſchlämmtem Kaolin hinzu. Die Fluß- und Feldſpatgläſer ſind nicht beſonders rein, doch bekommen ſie einen hellen Glanz; außerdem werden ſie in dünnen Schichten gern rauh, und letzterem Übelſtande hilft man durch eine größere Zugabe von Mennige ab. Das Spatglas erſcheint mehr milchig getrübt und iſt in der Durchſicht dafür aber nicht ſo wolkig getrübt wie das Kryolithglas, ſondern in der weißen Färbung gleichmäßiger, ſo daß es zur Herſtellung von Beleuchtungsgegenſtänden geeigneter iſt. Milchgläſer von vorzüglicher Beſchaffenheit kann man außerdem erhalten, wenn man nur einen Teil des Kryoliths durch Fluß- und Feldſpat erſetzt. Ein ſolcher Glasſatz iſt folgender: 100 kg Sand, 18 kg Soda, 10 kg Flußſpat, 14 kg Feldſpat, 8 kg Kryolith, 4 kg Salpeter, 4 kg Mennige. Auch letztere Gemenge greifen die Hafenmaſſe ſtark an, wobei der überſchüſſige Fluorgehalt ſich mit den Schmelzmitteln vereinigt und zu Boden ſinkt, wobei der Hafenboden alsbald zerſtört wird. Ein derartig angegriffener Hafen iſt muldenförmig ausgefreſſen und bekommt ſchließlich Löcher, ſo daß er gänzlich unbrauchbar wird. Um die Häfen haltbarer zu machen, ſtellt man dieſelben von ſtärkerer Wandſtärke und dafür größeren Dimenſionen her und gibt zur Bindung des Fluors einen möglichſt hohen Gehalt an Thonerde hinzu. Außerdem iſt darauf zu achten, die Temperatur beim Schmelzen nicht höher gehen zu laſſen, als unbedingt notwendig iſt. Zur Erzielung von reinem Glaſe wird außerdem empfohlen, nie ohne Hafenringe zu ſchmelzen. Der Ring ſchwimmt auf der Mitte der Glasmaſſe und dient dazu, das rein geſchmolzene Glas von den Abſchmelzungen der Hafenwände zu ſondern und zu ſchützen.

Die getrübten Gläſer haben eine reichere Farbenſkala als die klaren, weil bei den letzteren die Abweichungen in der Farbe nicht ſo bemerkbar ſind. Zur Herſtellung von farbigen, getrübten Gläſern eignen ſich am beſten die Kryolithgläſer, da die Spatgläſer einen wäſſerigen Stich beſitzen und ſo keine warmen Farbentöne liefern.

Fabrikation der Zier- und optischen Gläser.

Eisglas. Unter Eisglas versteht man Gläser, die auf der Oberfläche so dekoriert sind, daß sie wie mit Eisblumen bedeckt erscheinen. Dasselbe kann hergestellt werden, indem grobkörniges Kryſtallglas auf die mit Firniß überzogenen Gläser aufgeſtreut und dieſe dann in der Muffel gebrannt werden, oder aber durch Abſchrecken, indem man die heiße Glasmaſſe in kaltes Waſſer eintaucht und wieder erwärmt, den Glasposten in Glaspulver einrollt, ihn vorwärmt und dann abſchreckt; das Glas iſt dann von Riſſen zerklüftet und im zweiten Falle außerdem mit Körnern überſät. Zur Herſtellung des ſchönen, blumigen Eisglaſes benutzt man ein Kryſtall- oder überfangenes Glas, deſſen Oberfläche mattiert wird. Alsdann überzieht man das Gefäß mit dickem Tiſchlerleim und läßt denſelben antrocknen. Nach vollſtändigem Trocknen zieht ſich die Leimſchicht zuſammen, und es entſtehen Riſſe, deren Ränder ſich aufbiegen. Die ſich ablöſende Leimſchicht reißt kleine Glasſplitterchen mit, wodurch hellglänzende, muſchelig vertiefte Bruchſtellen gebildet werden. Auf dieſe Weiſe entſtehen blätterartige Muſter, die den Eisblumen am Fenſter ähnlich ſind. Schöne Effekte dieſer Art laſſen ſich mit Überfangfarbenglas erzielen, welches auf der Überfangſeite mattiert werden muß. Es entſtehen dann leichte Eisblumen auf gefärbtem Grunde.

Überfangglas. Schon die Alten verſtanden, wie oben erwähnt, die Kunſt, ein Glas mit einem oder mehreren in der Regel anders gefärbten Glasflüſſen zu überziehen (überfangen). Das Überfangen geſchieht entweder von außen, indem zunächſt das farbloſe und dann das gefärbte Glas aufgenommen wird, oder von innen durch erſte Aufnahme des Farbenglaſes, welches mit farbloſem Glaſe überzogen wird. Die Glasſätze, die man gewöhnlich als Überfanggläſer verarbeitet, ſind der Hauptſache nach bereits bei den farbigen Gläſern angegeben worden. Die meiſten Fabriken ſtellen ſich das Farbenglas nicht ſelbſt her, ſondern beziehen dasſelbe in Zapfen.

Bei ſeiner Verarbeitung formt der Glasmacher aus dem farbloſen Glaſe ſein Kölbchen, während der Gehilfe am Hefteiſen etwas Glas aufgenommen hat und mit dieſem einen Zapfen von der verlangten Farbe befeſtigt hat, welcher nun im Arbeitsloche bis zum Weichwerden erhitzt wird. Alsdann drückt er den Zapfen gegen den vom Glasmacher gehaltenen Poſten Glas und ſchneidet mit der Schere die zum Überfangen nötige Menge ab. Nun wärmt der Glasmacher das Kölbchen nochmals an und breitet das Farbenglas mit dem Plätteiſen und der Motze aus. Dieſes Glätten wird mehrmals wiederholt, worauf dann der Poſten zum zweitenmal mit farbloſem Glaſe überzogen wird.

Das Überfangen geſchieht auch mit verſchiedenen Farben übereinander auf einem und demſelben Gegenſtand. Durch nachträglichen Schliff läßt man nun bald die eine oder die andere Farbe hervortreten, was beſonders in der Buntbecherfabrikation, bei Herſtellung von Kryſtall- und Hohlgläſern zur Anwendung kommt.

Marmorierte Gläſer, Nachahmung von Geſtein. Derartiges Glas wird auf die Weiſe hergeſtellt, daß man in eine geſchmolzene Glasmaſſe andersfarbige Glaszapfen und Stangen einſchichtet, die in der heißen Glasmaſſe erweichen, ohne ſich mit derſelben zu miſchen; die Verarbeitung erfolgt dann wie gewöhnlich, oder aber der Glasmacher bildet aus dem farbloſen Glaſe einen Poſten, bläſt ihn auf, während ein anderer Arbeiter Zapfen verſchieden gefärbter Gläſer im Ofen erweicht, mit der Schere in kleine Stücken ſchneidet und auf dem farbloſen Stück über- und nebeneinander aufzieht. Das Röllchen wird nun angewärmt, etwas aufgeblaſen und in Stücke geſchlagen, die dann im weiteren verwandt werden, und zwar derart, daß der Glasmacher einen Poſten farbloſen Glaſes aufnimmt, in den betreffenden Splittern umherrollt, anwärmt, aufbläſt und nochmals mit einer farbloſen Schicht überzieht. Die Aderungen werden entweder mit einem ſpitzen Stichel oder mittels des Zwickeiſens hervorgerufen, indem man die farbigen Stellen verſchieden durchkreuzt, oder die weiche Glasmaſſe faßt, zieht und eindreht, wodurch Adern und Kanten entſtehen.

Die ganz feine Aderung jedoch wird von der Spinnmaſchine erzeugt. Mit dieſer werden die weißen Glaszapfen etwa 6—8 mal nach jedesmaligem Breitdrücken über-

ſponnen, wodurch man ſchließlich eine Maſſe erhält, die reichlich mit feinen Adern durchſetzt iſt. Aus dieſen Zapfen werden mit der Pfeife kleine Kölbchen gebildet, die aufgeblaſen und zu Splittern zerſchlagen, für ſich oder mit anderen gemiſcht zur Verzierung benutzt werden.

Aventuringlas. Aventuringlas iſt ein Glas, das mit metallglänzenden Flittern in verſchiedenen Farben durchſetzt iſt. Zur Herſtellung benutzt man in der Regel nach Pettenkofer die Kupferrubinſätze, bei welchen die Bildung der glänzenden Metallflitter dadurch hervorgerufen wird, daß man die reine geſchmolzene Glasmaſſe längere Zeit auf einer Temperatur erhält, bei welcher das Glas noch zähflüſſig iſt; oder man ſetzt nach den Vorſchriften von Pettenkofer ſo viel Eiſenflitter hinzu, daß etwa die Hälfte des Kupferoxyds reduziert wird. Während des langſamen Abkühlens der Hafenmaſſe ſcheiden ſich winzige Kryſtallblättchen ab. Behufs langſamen Abkühlens bedeckt man die reingeſchmolzenen Häfen mit einer dichten Aſchenſchicht und ſchafft den Hafen nach einem gut gewärmten Kühlofen, deſſen Öffnungen ſorgfältigſt verſchmiert werden. Nach etwa vier Tagen wird der Hafen herausgenommen und die Glasmaſſe in Stücke geſchlagen und in den Handel gebracht.

Man verarbeitet das Aventuringlas zu Schmuckgegenſtänden und zur ornamentalen Moſaik.

Als Überfangglas wird das Aventuringlas beſonders für das ſchwarze Hyalithglas zu Luxusgegenſtänden, Schalen, Körbchen, Vaſen u. ſ. w. verarbeitet, und zwar mittels des ſogenannten Trichter-Überfanges. Man verwendet dann drei Glasſorten: das ſchwarze Hyalithglas als innere Schicht, ein farbloſes Glas zum Überfang und das Aventuringlaspulver zur Verzierung. Zunächſt bildet der Arbeiter aus dem farbloſen Glaſe ein Kölbchen, aus welchem ein Trichter hergeſtellt wird, deſſen Größe ſich nach dem herzuſtellenden Gegenſtand richtet. Der vorgewärmte Trichter wird dann mit Aventuringlaspulver im Inneren ordentlich ausgeſtäubt, während ein anderer Arbeiter einen Poſten Hyalithglas aufgenommen und geformt hat. Dieſer Poſten wird nun in den von der Pfeife abgeſprengten Trichter eingeblaſen. Hierauf wird der ganze Poſten vorgewärmt und zu dem gewünſchten Gegenſtand geformt. Die Metallflitter bleiben erhalten, da dieſe, zwiſchen zwei Glasſchichten eingeſchloſſen, mit dem direkten Feuer nicht in Berührung kommen.

Regenbogenfarbene Gläſer. Die Herſtellung dieſer Gläſer iſt den mittels Zapfenglas überfangenen ähnlich; der farbenreiche Glaszapfen wird auf folgende Weiſe hergeſtellt. Ein Arbeiter ſtellt einen farbloſen Zapfen her, während ein zweiter farbige Glaszapfen, Goldrubine, Silber- oder Kadmiumgelb und Dunkelblau an drei Hefteiſen heftet und alle erweichen läßt. Nun werden die einzelnen Zapfen auf dem farbloſen der Länge nach angeordnet, und zwar ſo oft es geht abwechſelnd. Iſt der Kern mit Farbenſtreifen bedeckt, ſo werden dieſelben etwas ſeitwärts gedrückt, ſo daß eine Farbe teilweiſe die andere verdeckt. Auf dieſe Weiſe entſtehen dann die Zwiſchenfarben Orange, Grün und Violett.

Nun wird der Glasposten angewärmt und zu längeren Zapfen verarbeitet, die zum ſpäteren Überfang dienen. Das Glas in Regenbogenfarben dient hauptſächlich zur Herſtellung von Luxuswaren und Beleuchtungsartikeln.

Millefioriglas. Die Millefioriarbeit beruht darauf, daß ein aus Glasſtäben verſchiedener Farbe durch Hitze zuſammengeſchweißter Stab ſich im erweichten Zuſtande ausziehen läßt, ohne daß ſeine innere auf jedem ſeiner Abſchnitte zu Tage tretende Zeichnung dadurch verändert wird. Schon im alten Ägypten verſtand man auf dieſe Weiſe Schmuckplatten mit farbigen Muſtern von zierlichſter Zeichnung herzuſtellen. Von derlei Platten mit der Darſtellung von Blumen (fiori) führt dies Verfahren den Namen auch dann, wenn andere Muſter als Blumen vorliegen. Im alten Rom iſt es zu höherer Vollendung als je in ſpäterer Zeit gediehen. Ende des 15. Jahrhunderts gelang den Venetianern die Nacherfindung. Die Herſtellung von flachen Bechern, Schalen und Schüſſeln in Millefioritechnik erfolgte entweder in der Weiſe, daß man die nebeneinander in eine Hohlform gelegten Abſchnitte der Glasſtäbe erhitzte, bis ſie erweichten und an

den Rändern aneinander klebten, oder man vereinigte sie mittels einer Glasblase, an deren Fläche die erweichten Abschnitte hafteten, um dann mit der Blase weiter ausgestaltet zu werden. Durch Abschleifen der Unregelmäßigkeiten der Oberfläche vollendet man die Gefäße.

Filigranglas. Auch diese Technik war bereits den Römern bekannt, auch sie wurde von den Venetianern nacherfunden und im 16. Jahrhundert zur höchsten Blüte gebracht (Abb. 194). Es dient zur Verzierung feiner Luxuswaren und wird vielfach in der Hohlglasfabrikation angewandt. Man stellt Glasstäbe her, die bei der Fabrikation derart behandelt werden, daß die inwendig eingeschlossenen farbigen Glasfäden verschlungen oder schraubenförmig gewundene Linien bilden. Zur Herstellung eines solchen Glasstabes legt man auf einen farblosen Glascylinder der Länge nach einen Glasstreifen und dreht den Posten beim nochmaligen Ausziehen. Die Fäden werden schmäler und breiter gewählt und in verschiedenen Farben aufgelegt.

Zwecks Verwendung dieser Stäbe benutzt man Formen aus Eisen oder Thon, deren Seitenwände mit geradelaufenden vertieften Rippen versehen sind, in welche die Stäbe eingelegt werden. In diese so beschickte Form bläst der Glasbläser den Posten ein, wobei sich das Glas mit den Stäbchen verbindet und mit denselben herausgenommen werden kann. Der ganze Posten wird nun im Ofen erweicht, worauf man den unteren Teil mit der Zange erfaßt, in die Länge zieht und den Bodenteil abschneidet. Dabei wird die Wandung zusammengekniffen und die Stäbchen zu einem Mittelpunkt vereinigt. Nun wird der Posten zu dem gewünschten Gegenstande verarbeitet.

Auf diese Weise lassen sich mit verschiedensten farbigen Fädchen verzierte Gegenstände herstellen.

Optisches Glas. Die zu optischen Zwecken dienenden Linsen werden aus bleihaltigem Flint- und bleifreiem Kronglas hergestellt. Optische Gläser müssen aus vollkommen reinem Material hergestellt werden, da man von ihnen vollkommene Farblosigkeit, Durchsichtigkeit, Lichtbrechungsvermögen und vollkommene Gleichmäßigkeit in der Struktur verlangt.

Da die Glassätze im Verhältnis zum Sande eine größere Menge Mennige enthalten, so zeigt die Glasmasse, wenn sie geflossen ist, eine große Neigung, sich zu entmischen, wobei sich die Schichten mit verschiedenem spezifischen Gewicht absondern, so daß das Glas nun nicht mehr homogen ist, was für optische Zwecke doch durchaus notwendig ist.

Diesen Anforderungen zu genügen, ist lange nicht gelungen, bis es endlich Guinand dem Älteren vergönnt war, diese Aufgabe wenigstens in beschränktem Maße zu lösen. Nach seinem Verfahren wird die flüssige Glasmasse während der Läuterung mittels eines gebrannten hohlen Thoncylinders, in welchem ein eiserner Haken eingeschoben und befestigt ist, anhaltend umgerührt, ohne daß der Boden oder die Seitenwände des Hafens berührt werden. Dieses Umrühren wiederholt man während der 24stündigen Läuterungsdauer fünf- bis achtmal. Das letzte Mal vor dem Abkühlen des Hafens wird so lange gerührt, wie es die zähe Glasmasse gestattet. Dann wird der Hafen möglichst rasch abgekühlt und nach erfolgtem Erstarren alle Öffnungen gut verschlossen, bis auf eine 2,5 cm weite Öffnung. Nach acht Tagen wird der Hafen zerschlagen und der in Stücke gespaltene Glasblock mittels entgegengesetzter Seitenschliffe auf seine optischen Eigenschaften untersucht. — In ähnlicher Weise wurde von Guinand auch das Kronglas hergestellt.

Das Geheimnis Guinands wurde später von seinem Sohne an Bontemps verkauft, welcher es sehr vervollkommnete und das Verfahren 1848 nach England übertrug, wo er in die Firma Chance & Comp. in Birmingham eingetreten war. Einen Weltruf in der Fabrikation von optischen Gläsern erlangte in Frankreich Feil und des jungen Guinands Enkel.

Die weitere Verarbeitung der bei der Prüfung und Zerteilung der einzelnen Stücke der erschmolzenen Glasmasse geschieht auf folgende Weise. Von den einzelnen Stücken schlägt man zunächst die Ecken ab und legt jene dann in eine mit feinem Sande angefüllte thönerne Schale, nachdem man zuvor mittels einer Linse in dem Sande eine der herzustellenden Form des Glases entsprechende Vertiefung hervorgebracht hat. Das Ganze

wird dann unter einer Muffel zum Schmelzen gebracht. Das Glas ſinkt nun durch ſein eigenes Gewicht nieder, breitet ſich in der Vertiefung des Sandes aus und bildet ſo nach dem Abkühlen die rohe, zum Schleifen vorbereitete Linſe oder Platte. Bei der Herſtellung von größeren Linſen bedient man ſich eines eigenen Ofens mit drei Abteilungen, in deſſen erſter das Stück erweicht, in deſſen zweiter es in die Form gedrückt wird, während es in der dritten den Kühlprozeß durchmacht.

Ihre Vollendung erhalten dieſe Stücke durch Schleifen und Polieren. Der urſprüngliche Apparat zum Schleifen und Polieren von optiſchen Gläſern hat große Ähnlichkeit mit einer Töpferſcheibe; eine aufrecht ſtehende Welle trägt auf ihrem oberen Ende, je nach dem zu formenden Gegenſtande, eine konvexe oder konkave kupferne Scheibe. Auf die in Bewegung geſetzte Scheibe bringt man nun etwas mit Öl oder Waſſer angemachten Schmirgel und drückt das Glas ſenkrecht gegen die Platte. Für große Linſen werden die metallenen Schleifſchalen ſehr ſchwer und teuer. Foucanet erſetzte daher die Metallſcheiben durch gläſerne. Dieſe Schale wird auf einem feſten Pfeiler montiert, Schmirgelbrei darauf getragen, die rohe Linſe hineingelegt, gleichmäßig nach allen Richtungen hin herumgedreht und ſo allmählich unter Erneuerung des Schleifmittels in die Form der Schale eingeſchliffen. Unter Anwendung immer feinerer Schmirgelſorten geht dann in gleicher Weiſe das Feinſchleifen vor ſich, worauf dann die Linſe der Polierſchale übergeben wird.

Sätze für dieſe Glasſorten enthalten häufiger Borax, auch hat man verſucht, einen Teil der Mennige durch Zinkoxyd, Baryterde zu erſetzen. Um die lichtbrechende Kraft in optiſchen Gläſern zu erhöhen, iſt das Bleioxyd durch Thalliumoxyd erſetzt worden. Ein Gemenge von 300 kg Sand, 200 kg Mennige, 335 kg kohlenſaurem Thalliumoxyd ergab ein ſehr ſchweres Glas von angenehmer, ganz ſchwach gelblicher Farbe. Dasſelbe ſchmilzt leicht und läßt ſich leicht raffinieren.

Die Glasſätze für optiſche Gläſer ſind folgende: für Flintglas nach **Guinand**: 100 kg weißer Sand, 100 kg Mennige, 23 kg amerikaniſche Pottaſche, 1,75 kg Borax, 1,33 kg Salpeter, 0,45 kg Braunſtein, 0,45 kg Arſenik, 22 kg Brocken; nach **Bontemps**: 100 kg weißer Sand, 100 kg Mennige, 30 kg reinſte Soda oder auch 100 kg weißer Sand, 100 kg Mennige, 23 kg gereinigte Pottaſche, 6,75 kg Salpeter oder 100 kg weißer Sand, 100 kg reines Bleioxyd, 26 kg gereinigte Pottaſche, 6,75 kg Salpeter; für leichtes Flintglas für photographiſche Objektive von **Chance**: 100 kg Sand, 67 kg Mennige, 30 kg Pottaſche, 3,33 kg Salpeter; für ſchweres Flintglas für Fernrohre: 100 kg Sand, 105 kg Mennige, 26,66 kg Pottaſche, 4,8 kg Salpeter; für extra ſchweres Flintglas für Mikroſkope: 100 kg Sand, 128 kg Mennige, 25 kg Pottaſche, 2 kg Salpeter.

Die bis Ende der 70er Jahre hergeſtellten Linſen und Mikroſkopobjektive zeigten jedoch erhebliche Mängel. In einem Berichte über die optiſchen Hilfsmittel der Mikroſkopie auf der Ausſtellung wiſſenſchaftlicher Apparate zu London 1876 war Prof. **Abbe** zu dem Schluß gekommen, daß dieſe Mängel in dem nicht zweckmäßigen gegenſeitigen optiſchen Verhalten der für die Linſen benutzten Crown- und Flintgläſer begründet ſeien, und daß eine Vervollkommnung des Mikroſkopes nur dann zu erwarten ſei, wenn es gelänge, Glasarten herzuſtellen, die in ihrem Lichtzerſtreuungs- und Brechungsvermögen einander in der Weiſe ergänzen, daß die an den damaligen achromatiſchen Linſen noch nicht beſeitigte Erſcheinung des ſogenannten ſekundären Spektrums aufgehoben wird. — Um dieſen Erſcheinungen auf den Grund zu gehen, wurden von Abbe und Schott-Jena im Jahre 1881 umfaſſende Verſuche angeſtellt, die 1883 ſo weit beendet wurden, daß man zur praktiſchen Verwertung der gewonnenen Erkenntniſſe und Erfahrungen übergehen konnte. An die Durchführung dieſes Vorhabens knüpfte ſich unmittelbar eine andere Aufgabe, die darin beſtand, daß ſeit dem Tode Frauenhofers (1826) in Deutſchland eingegangene Fabrikation von optiſchen Gläſern wieder aufleben zu laſſen, um ſo die bisher auf franzöſiſche und engliſche Fabriken angewieſene Induſtrie vom Auslande unabhängig zu machen. Mit Unterſtützung des preußiſchen Staates gelang es der Firma Schott und Genoſſen, nach zweijähriger Verſuchs- und Lehrzeit mit Leiſtungen hervorzutreten, welche allerſeits die vollſte Anerkennung fanden und nicht nur den geſamten

deutschen Bedarf, sondern teilweise auch den ausländischen in vorzüglicher Weise zu befriedigen vermochten.

Besonders hervorzuheben sind folgende Glasarten von wesentlich neuer Zusammensetzung: Phosphat-Crown, Baryum-Phosphat-Crown, Boro-Silikat-Crown, Baryum-Silikat-Crown, Borat-Flint, Boro-Silikat-Flint, Silikat-Flint und Baryt-Leichtflint. Die Herstellung dieser Gläser ist folgende: Nach Vorbereitung des Hafens in üblicher Weise legt man die Rohmaterialien ein. Ist diese erste Einlage geschmolzen, so kommt die zweite u. s. w., bis der Hafen gefüllt ist. Vor der letzten Einlage wird das Glas mittels Rübe oder Kartoffel geblasen, alsdann folgt das Lauterschmelzen, was 6—8 Stunden dauert. Die Temperatur darf dabei nicht zu hoch und nicht zu niedrig sein. Ist die richtige Schmelzung erreicht, so wird das Feuer abgeschwächt und die sich auf der Oberfläche ansammelnden thonerdereichen Anteile entfernt. Nun legt man den Rührer, einen aus Thon hergestellten, rotglühend gemachten Cylinder ins Glas und beginnt nach einer Stunde mit dem Rühren. Durch eine herausgenommene Probe überzeugt man sich, ob das Glas blasenfrei ist. Mit zunehmender Erstarrung der Glasmasse muß auch die Geschwindigkeit des Rührens abnehmen und schließlich ganz aufhören. Alsdann wird der Hafen aus dem Ofen genommen und 30—45 Minuten frei stehen gelassen. Danach kommt er in den Temperofen, wo er gekühlt wird, wobei sein Inhalt in mehrere Stücke zerspringt. Die guten Stücke werden nun gesondert und dem Senkprozeß unterworfen, wodurch die Stücke regelmäßige Formen erhalten. Dieses geschieht in Chamotteformen in besonderen Öfen, aus welchen die Formen dann in den Kühlofen gelangen, worauf die Glasmasse aus den Formen entfernt und nochmals untersucht wird. Ihre Vollendung erhalten dann diese Stücke durch Schleifen und Polieren.

Uhrgläser werden in der Regel aus Bleikrystall hergestellt. Zunächst werden durch Ausschneiden im rohen Zustande Glaskugeln hergestellt, von denen jede drei Groß Uhrgläser liefert. Diese kommen dann auf polierte Thonunterlagen, welche die Form der zu fertigenden Uhrgläser besitzen, und schließlich in den Muffelofen zum Anwärmen. Nach erfolgtem Weichwerden nimmt man die Gläser aus dem Ofen und setzt dann auf den Rand des Glases einen hölzernen Hohlkegel auf, wobei der Rand an die Form angepreßt wird. Bessere Uhrgläser werden alsdann noch durch Schliff verziert.

Künstliche Edelsteine. Die Nachahmung natürlicher Ganz- und Halbedelsteine aus Glas ist schon frühe geübt worden. Die Thatsache, daß das Glas der Alten bis auf die spätere römische Kaiserzeit nur in Gestalt von farbigen Massen vorkommt, scheint dafür zu sprechen, daß man den Wert des Materials vorzugsweise in seiner Ähnlichkeit mit den edlen Gesteinen gefunden hat. Aus alten Überlieferungen geht hervor, daß man schon damals bemüht war, auch in betrügerischer Absicht künstliche Edelsteine aus Glas herzustellen. Unter anderen erzählt Seneca, daß ein gewisser Demokritos Smaragde täuschend nachgeahmt habe. Auch soll selbst die Gemahlin des Kaiser Galienus (260—268) falsche Perlen getragen haben, die ihr als echte verkauft waren. Ganz erloschen scheint diese Kunst niemals gewesen zu sein, denn Heraclius sowohl wie Theophilus wissen davon zu erzählen, und in Italien war schon zu des ersteren Zeiten die Verwendung der Bleiglases zu Edelsteinnachahmungen bekannt. Im Mittelalter haben sich besonders die Juden mit der Herstellung der künstlichen Edelsteine befaßt. Im weiteren Verlaufe der Zeit tritt die Verwendung des Bleiglases immer mehr in den Vordergrund, bis es gegen Ende des 18. Jahrhunderts dem Wiener Juwelier Joseph Strasser gelang, einen für diese Zwecke sehr geeigneten Glasfluß zu finden, welcher späterhin nach ihm den Namen Straß erhielt. Seiner Zusamensetzung nach bildet der Straß ein sehr bleireiches Glas, welches sich durch ein sehr hohes spezifisches Gewicht und großes Lichtbrechungsvermögen auszeichnet. Um die Ausbildung dieses Zweiges der Glasindustrie hat sich besonders Douault-Wieland verdient gemacht; für die Mitteilung seiner Methoden zur Darstellung künstlicher Steine erhielt er von der Société d'encouragement den Preis, und seit dieser Zeit hat diese Kunst in Frankreich so außerordentliche Fortschritte gemacht, daß die französischen Produkte alle anderen weit übertrafen.

Die künstlichen Edelsteine besitzen in der That einen sehr hohen Glanz, aber ein großer Nachteil, der in den Eigenschaften des Glases begründet ist, wird die unechten Steine niemals zu einer allgemeinen Verwendung kommen lassen, denn das bleireiche Glas ist zu weich; es widersteht also nicht längere Zeit der Abnutzung.

Außer den Edelsteinimitationen werden undurchsichtige gefärbte Glaspasten hergestellt, welche nach den Steinen bezeichnet sind, denen sie gleichen, z. B. Aventurin, Lasurstein, Chrysopras, Türkis, Obsidian u. s. w. Wöhler, Pettenkofer, Ebell und Müller beschäftigten sich vorzugsweise damit, das Geheimnis der Herstellungsweise dieser Steine zu ergründen, und ihre Nachbildungsversuche haben auch Erfolg gehabt.

Man benutzte zu dieser Fabrikation ganz besonders reine Materialien, wie sie zu den wesentlichen Bestandteilen der Glasmassen gehören, und setzte denselben noch bestimmte Mengen Mennige und Borax zu. Die Rohmaterialien zur Herstellung von künstlichen Edelsteinen sind also 1. reinste Kieselerde, und zwar in der Regel fein gemahlener Bergkrystall; auch weißer Sand oder Quarz, die selbst bei höherer Temperatur rein weiß bleiben, können benutzt werden. Gegebenen Falles werden die beiden letzten Materialien eigens mit Salzsäure gereinigt und wieder nach dem Auswaschen getrocknet. Feuerstein darf nur zur Herstellung von kleinen Steinen benutzt werden. 2. Reinstes Kali oder Natron. Diese müssen auf das sorgfältigste gereinigt werden. 3. Borax. Hier gibt man dem künstlich erhaltenen den Vorzug, da der natürlich vorkommende häufig organische Substanzen enthält, die das Glas färben. 4. Kohlensaures Bleioxyd oder Mennige. Dieselben müssen vollkommen rein sein und namentlich weder Zinn noch Eisenoxyd resp. Oxydul enthalten. Durch ersteres wird das Glas getrübt, durch letzteres wird es grünlich gefärbt. Bleiweiß und Mennige müssen sich in verdünnter Salpetersäure vollständig lösen, ohne einen Rückstand zu hinterlassen; die möglichst neutralisierte Lösung darf durch Blutlaugensalz nicht rot werden. Im ersteren Fall ist Zinn, im zweiten Kupfer vorhanden. 5. Arsenige Säure und Salpeter: beide müssen vollständig rein sein und dienen zur Zerstörung der organischen Substanz. 6. Ein färbendes, reines Metalloxyd. Die Materialien ohne das färbende Oxyd liefern die Ausgangsmenge zur Herstellung von künstlichen Edelsteinen, und derartige Glasflüsse bezeichnet man als Straß. Nach Schrader nimmt man zur Herstellung von Straß: 29,23 g gemahlenen Bergkrystall, 14,61 g trockenes, kohlensaures Natron, 7,2 g Mennige, 10,96 g gebrannten Borax, 1,21—3,65 g Salpeter.

Nach Douault-Wieland gaben Loysel, Dumas, Abich, Schlieper, Klaproth, Chenevix, Thénard, Bastenaire verschiedene Gemenge an, die zur Erzeugung künstlicher Edelsteine benutzt werden können.

Zur Herstellung von künstlichen Rubinen benutzt man z. B. nach Schrader: 29,22 g feinst gepulverten Bergkrystall, 14,61 g gepulvertes, trockenes, kohlensaures Natron, 10,96 g gebrannten und gepulverten Borax, 10,86 g Mennige, 5,47 g gepulverten Salpeter, 3,65 g Goldpurpur, 0,48 g Spießglanz und 0,48 g Graumanganerz.

Topas wird nach Douault erhalten aus 1000 Teilen Straß, 40 Teilen Spießglanzerz, 1 Goldpurpur. Man erhält hieraus je nach der Temperatur rosenrote bis hyacinthrote Steine. Einen guten dunklen Chrysolith erhält man aus 21,92 g Bergkrystall, 4,2 g trockenem kohlensauren Natron, 5,47 g gebranntem Borax, 3,65 g Mennige, 0,6 g Salpeter, 0,12 g strahligem Graumanganerz.

Der Smaragd, ein Edelstein von grüner Färbung, wird nachgeahmt durch Einschmelzen von 1000 Teilen Straß, 8 Teilen Kupferoxyd, 0,2 Teilen Chromoxyd. Auch durch Kupfer und Eisenoxyd erhält man künstliche Smaragde aus 43,84 g Bergkrystall, 21,92 g trockenem kohlensauren Natron, 7,2 g gebranntem und gepulvertem Borax, 7,2 g Mennige, 3,65 g Salpeter, 1,21 g rotes Eisenoxyd und 0,6 g grünem kohlensauren Kupferoxyd.

Der Saphir wird nach Schrader durch Zusammenschmelzen folgender Mengenverhältnisse nachgeahmt 43,84 g Bergkrystall, 21,92 g trockenes, kohlensaures Natron, 7,2 g gebrannter und gepulverter Borax, 7,2 g Mennige, 3,65 g Salpeter und 0,6 g Kobaltoxyd. Auch Kupfer allein erhielt Schrader eine schöne blaue Farbe: 43,64 g Bergkrystall, 21,92 g trockenes kohlensaures Natron, 10,96 g gebrannter und gepulverter Borax, 3,65 g Mennige, 1,82 g Salpeter, 1,83 g grünes kohlensaures Kupferoxyd. Außerdem kann man künstlichen Saphir zusammensetzen aus: 1000 Teilen Straß und 15 Teilen Smalte.

Der Amethyst, ein violetter Bergkrystall, wird auf künstlichem Wege hergestellt aus 300 g einer Glasfritte, versetzt mit 0,6 g Graumanganerz, oder aus 300 g Fritte, die 0,3 % Manganoxyd erhält, 36,5 g Salpeter, 15,0 g Mennige und 15 g Borax. Einen schön

färbten Amethyst erhält man durch Zusammenschmelzen von 1000 Teilen Straß, 8 Teilen Manganoxyd, 5 Teilen Kobaltoxyd, 0,2 Teilen Goldpurpur.

Den Aquamarin, eine Abart des Berylls ahmt man nach Kralik nach durch Einschmelzen von 43,84 Teilen Bergkrystall, 0,86 Teilen rotes Eisenoxyd, 14,61 Teilen kohlensaures Natron, 0,82 Teilen grünes Eisenoxyd, 10,96 Teilen Borax, 7,2 Teilen Mennige, 3,65 Teilen Salpeter, oder auch durch Zusammenschmelzen von 1000 Teilen Straß, 7 Teilen Spießglanzerz, 0,4 Teilen Kobaltoxyd.

Einen künstlichen Turmalin von rötlich brauner Farbe erhält man aus 29,23 g Bergkrystall, 14,61 g gepulvertem kohlensauren Natron, 10,96 g calc. Borax, 5,46 g Mennige, 0,47 g Salpeter und 0,48 g Nickeloxyd. Einen Turmalin von lauchgrün-indigoblauer Farbe erhält man aus 58,44 g gepulvertem Glas, 21,92 g gepulvertem Bergkrystall, 21,92 g Mennige, 14,61 g gebranntem Borax, 2,43 g Salpeter, 0,09 g Kobaltoxyd, als kohlensaures Salz.

Künstlichen Granat ergibt ein Gemenge von 1000 Teilen Straß, 500 Teilen Spießglanzerz, 4 Teilen Manganoxyd, 4 Teilen Goldpurpur, oder aus 32,29 g Bergkrystall, 10,96 g trockenem gepulverten kohlensauren Natron, 7,93 g gebranntem und gepulvertem Borax, 5,47 g Mennige, 2,43 g Salpeter, 0,3 g strahligem Graumanganerz, 0,18 g rotem Eisenoxyd.

Die verschiedenen Opale kann man nach Bastenaire nachahmen, wenn man farblosen oder gefärbten Straß mit Zinnoxyd versetzt, und zwar genügen 1—2%.

Achate ahmt man nach, indem man Bruchstücke von verschiedenen gefärbten Flüssen zusammenfließen läßt und während des Flusses rührt.

Türkis erhält man durch Schmelzen von gemahlenem Aquamarin-Straß und Knochenasche (5%); um die Färbung noch etwas dunkler zu machen, setzt man etwas Kobaltoxyd hinzu. Gemmen und Kameen werden in den verschiedensten Farben nachgemacht und oft aus zwei verschieden gefärbten Flüssen mittels einer leicht schmelzbaren Masse zusammengeschmolzen. Ein solcher Fluß zum Verschmelzen stellt sich zusammen aus 2 Teilen Sand, 6 Teilen Mennige, 2 Teilen Salpeter, 3 Teilen Borax und 6 Teilen Wismutoxyd.

In neuerer Zeit versucht man auch sehr harte Gläser zur Edelsteinimitation aus Thonerde und Borax mit den nötigen Färbemitteln herzustellen. Auch wurde Fluoraluminium und Borsäure verwandt und man benutzte letztere Materialien, um weißen Korund herzustellen. Roten Korund, Rubin, erhält man auf dieselbe Weise beim Erhitzen, wobei dem Fluoraluminium eine kleine Menge Fluorchrom hinzugesetzt wird.

Durch dieselbe Prozedur nur bei wechselndem Fluorchromgehalt erhält man auch den blauen Korund, den Saphir.

Zur Darstellung von Zirkon verwendet man Fluor-Zirkonaluminium mit Borsäure. Um Chrysoberyll zu erhalten, vereinigt man Fluorberyllium mit Fluoraluminium und zersetzt ihre Dämpfe durch Borsäure. Feil und Fremy erhielten krystallisierte Thonerde aus Thonerde und Mennige, welche Mengen sich im Thontiegel schmelzen. Ebenso erhielten die Genannten aus Kieselsäure und Fluoraluminium oder von Thonerde mit Fluorbaryum Krystalle von Thonerde.

Emails. Unter Emails versteht man eine Klasse von Glasflüssen, welche sehr leicht schmelzbar sind, stets gefärbt und bald durchsichtig, bald opal hergestellt werden. Schmelzfarbige Überzüge auf Glas und Thonwaren, d. h. Glasuren finden sich schon im Altertum. Emailartige Überzüge auf Metalle scheinen jedoch erst erheblich später bekannt geworden zu sein. Während die emailartigen Überzüge auf Glas und Thon mehr zur Verzierung dienen, werden Metalle zu ihrem Schutze emailliert, um sie gegen äußere Einflüsse unempfindlich zu machen.

Die lediglich zur künstlerischen Verzierung dienenden Emails können verschiedener Art sein. Da sind erstlich die Emails — ähnlich der Glasmosaik — von Fenstern, welche die einzelnen gefärbten Emails durch metallene Einfassungen voneinander getrennt enthalten. Andere Emails überziehen die erhabenen Flächen eines Reliefs, während das vertiefte Glas das verwandte Metall erkennen läßt. Oder aber das Email bildet eine vollständige Miniaturmalerei mit Emailfarben auf Gold oder Kupfer, wobei auf letzteren ein besonderer Glasfluß als Malgrund aufgeschmolzen ist. Die gefärbten Emails unterscheidet man weiter, je nachdem sie auf den Untergrund aufgelegt, durch Metalleinfassung getrennt sind, oder das Email auf Flächen aufgeschmolzen enthalten, oder zur Füllung einer durchbrochenen Metallarbeit benutzt werden, so daß das Ganze wie eine Zusammensetzung von mit Metall eingefaßten Edelsteinen erscheint. — Einen großen Aufschwung nahm die Emailmalerei im 16. Jahrhundert, wo namentlich in Limoges Malereien in höchster Vollendung angefertigt wurden. Dabei kamen vorzugsweise weiße Emails auf schwarzem oder blauem Grunde zur Anwendung. Später wurden wie in Italien auch in Limoges weiße Emails auf farbigem Grunde hergestellt.

Bei der Emaillierung von Metallen handelt es ſich nur darum, ebene Flächen mit einer Emailſchicht zu überziehen; es hat alſo dieſe Art der Verzierung nichts gemein mit der eigentlichen Kunſt des Emaillierens. Die Zuſammenſetzung der Emails richtet ſich nach dem betreffenden Metall, das mit einem Überzug verſehen werden ſoll, da gewiſſe Metalle von Emaillen angegriffen werden und umgekehrt. Von allen Metallen läßt ſich Gold am leichteſten emaillieren, doch treten auch hier durch den Kupfergehalt des Goldes Veränderungen in der Farbe ein, ſo daß man häufig die Oberfläche des zu emaillierenden Stückes von Kupfer möglichſt befreit. Dieſes geſchieht durch Kochen des betreffenden Stückes in einer Löſung von: 40 Teilen Salpeter, 25 Teilen Alaun, 35 Teilen Seeſalz. Beim Emaillieren von Silber und Kupfer ändert ſich die Färbung des Emails faſt immer, und zwar zum mindeſten an der direkten Berührungsfläche. Auf Silber, Kupfer u. ſ. w. werden daher in der Regel nur undurchſichtige Emails angewandt. Bei durchſichtigen Emails muß zunächſt das Metall mit Gold überzogen werden, oder das Metall erhält zunächſt eine Schicht eines undurchſichtigen Emails von derſelben Farbe, über welche dann das durchſichtige Email gelegt wird. Auch das Gold kommt nicht in die direkte Berührung mit dem anderen Metall, ſondern man legt zwiſchen Gold und Metall eine iſolierende ſchwarze Emailſchicht.

Die beim Emaillieren zu beobachtenden Vorſchriften ſollen hier nicht beſprochen werden; an dieſer Stelle ſeien nur die Zuſammenſetzungen der Emailgläſer angegeben. Für durchſichtige Emails nimmt man auf 100 Gewichtsteile:

	I	II	III	IV	V
Gemahlenen Sand . .	35	30	30	$33^1/_3$	30
Bleioxyd	35	40	50	50	60
Salpeter	30	20	10	$18^1/_3$	0
Borax	0	10	10	$3^1/_3$	10

Dieſen Flüſſen ſetzt man, um ſie undurchſichtig zu machen, in der Regel Zinnoxyd, arſenige Säure, phosphorſauren Kalk oder Antimonſäure hinzu. Am häufigſten gebraucht man das Zinnoxyd. Um dasſelbe in den Emaillen in möglichſt feiner Verteilung zu haben, wird dieſes nicht direkt zugeſetzt, ſondern man benutzt dazu eine Miſchung von Zinn- und Bleioxyd, die man Aſche oder Calcine nennt. Die Mengeverhältniſſe zwiſchen Blei und Zinn zur Bereitung von Aſchen ſchwanken, und man wendet an 1 Teil Zinn auf 3—7 Teile Blei. Zur Bereitung von Aſche ſchmilzt man zunächſt das Blei in einer flachen eiſernen Pfanne oder in einer Chamottekapſel, wie ſolche zum Brennen von Porzellan gebraucht werden. Dann legt man die beſtimmte Menge Zinn hinzu und erhitzt das Ganze bis zum ſchwachen Rotglühen. Die ſich auf der Oberfläche bildende Oxydſchicht nimmt man fort oder ſchiebt ſie zur Seite und wiederholt dieſes ſo lange, bis ſich alles Metall in gelbes Oxyd verwandelt hat. Dieſes wird nun fein gemahlen und zur Entfernung des nicht oxydierten Metalles geſchlämmt. Um die Emaillen undurchſichtig zu machen, müßte man folgende Mengeverhältniſſe nehmen: 40 Teile Aſche aus 4 Blei und 1 Zinn, 40 Teile Sand und 10 Teile Kochſalz, 25 Teile Aſche aus 1 Blei und 1 Zinn, 25 Teile Sand, 50 Teile Pottaſche, oder 40 Teile Blei, 40 Teile Sand, 0,04 Braunſtein, 12 Teile Zinn, 8 Teile Pottaſche, oder 10 Teile Blei, 10 Teile Sand, oder 2,5 Teile Aſche aus 5 Blei und 1 Zinn, 1,25 Teile Sand und 1 Pottaſche. Die Zahl der Vorſchriften für weißopales Emaille iſt ſehr groß, ſie ſollen hier nicht weiter angegeben werden. Die Rohmaterialien zur Emaillebereitung müſſen möglichſt frei von Eiſen ſein, um farbloſe Flüſſe zu erhalten. Dieſelben werden gepulvert und in der Regel ein oder mehrere Male in rauchfreiem Feuer eingeſchmolzen, im Waſſer abgeſchreckt und gemahlen. Das rauchende Feuer muß unter allen Umſtänden vermieden werden, da ſich ſonſt das reduzierte Blei abſcheidet und den Fluß ſchwarz färbt.

Die oben angegebenen Emaillen eignen ſich alle zum Emaillieren auf Gold. Für die anderen Metalle macht man dieſelben jedoch gern durch Zuſatz von 10 % Borax leichtflüſſiger.

Zur Herſtellung gefärbter Emaillen hat man nur nötig, ſowohl die durchſichtigen als auch die opalen Emaillen mit einer beſtimmten Menge der färbenden Agentien zu verſetzen.

Erklärung
zur Tafel Glaskunsterzeugnisse.

1. und 2. Moderne Tischgläser von Schreiber & Neffen in Wien. Weißes Kryſtallglas mit Golddekoration.
3. Zierſtengelglas von Lobmeyer in Wien. Nach Vorbildern aus der Pflanzenwelt in Grün, Violett und Rot. Moderne Nachbildung antiker Gläſer.
4. Glasſchale. Moderne Arbeit aus Venedig in Anlehnung an die alten Muſter (Salviati. — Compagnia Venezia-Murano).
5. Glaskrug von Lobmeyer in Wien mit Emailleſarben und reicher Goldverzierung Nachbildung alter emaillierter Gläſer.
6. Moderne Glasvaſe von Baccarat in Paris mit eingeſchnittenem Ornament und Emaille- und Goldverzierung.
7. Zierglas von Prof. Köpping in Berlin in grüner und violetter Färbung und aus iriſierendem Glaſe.
8. Kunkelglas (Goldrubinglas), Schale mit goldenen Handgriffen. Hergeſtellt zu Berlin 1700.
9. Weiße Glaskanne mit ſchwarzer Emailleſarbe bemalt. Hergeſtellt von Johann Schaper aus Harburg (Nürnberg, im 17. Jahrhundert).
10. Perſiſcher Teller aus dem 17. Jahrhundert aus blauem Glaſe mit Emaille- und Golddekoration.
11. Kurfürſtenglas aus dem 17. Jahrhundert mit Schmelzmalerei und aufgeſetzten Perlen.
12. Geſchliffenes Kryſtallglas von Lobmeyer in Wien.
13. Chineſiſche Glasvaſe, in Peking gefertigt. Gelbliche Grundmaſſe, die rot überfangen iſt. Verzierung durch Schnitt und Schliff.

Um das Haarrissigwerden der Emaillen zu vermeiden, legt man zunächst auf das Metall eine Emailschicht, die bei der Temperatur, bei welcher das Hauptemail blank wird, nur gefrittet ist. Nach Salvétat setzen sich solche Grundemails zusammen aus: 50 Teilen Sand, 32 Teilen Mennige, 10 Teilen Borsäure, 30 Teilen calciniertem kohlensauren Natron, oder 130 Teilen Flintglas, 20 Teilen calciniertem kohlensauren Natron, 12 Teilen Borsäure. Ferner kann man solche Grundemails erhalten, wenn man den durchsichtigen resp. opalen Emails Sand resp. geschlämmten Kaolin hinzusetzt. Der Schmelzpunkt der Emaillen wird dadurch heraufgerückt, und man erhält schwerfließende zähe Massen. Auch bei der Emaillierung von Eisen bedient man sich eines nicht vollständig fließenden Grundemails, das aus Quarz, Feldspat und Borax besteht, und einer leichter schmelzenden Deckmasse, dem eigentlichen Email.

Ein gewöhnliches farbloses Transemail erhält man nach Herrmann aus 10 Gewichtsteilen Quarz, 200 Gewichtsteilen Mennige und 50 Gewichtsteilen calciniertem Borax. Elfenbeinartiges Transemail erzeugt man mit folgender Zusammensetzung: 31 Teile Quarz, 2 Teile Eisenoxydhydrat, 15,5 Teile Borax (geschmolzen), 1 Teil Zinnblumen, 16,5 Teile Mennige, 1 Teil antimonsaures Kali. Zur Darstellung farbiger Transemails gibt derselbe folgende Rezepte an. Für Gelb: 100 Teile Quarz, 50 Teile Borax, 200 Teile Mennige, 2 Teile chromsaures Kali. Für Gelbbraun: 100 Teile Quarzsand, 50 Teile Borax, 200 Teile Mennige, 40 Teile rotes Eisenoxyd. Für Grün: 100 Teile Quarz, 50 Teile Borax, 300 Teile Mennige, 10 Teile Kupferoxyd. Für Blau: 100 Teile Quarz, 50 Teile Borax, 200 Teile Mennige, 6 Teile Kobaltoxyd. Für Violett: 100 Teile Quarz, 50 Teile Borax, 200 Teile Mennige, 4 Teile Manganoxyd. Für Grau: 100 Teile Quarz, 50 Teile Borax, 200 Teile Mennige, 0,25 Teile Kobaltoxyd, 1 Teil Kupferoxyd, 1 Teil Manganoxyd, 1 Teil Eisenoxyd. Für Schwarz: 100 Teile Quarz, 50 Teile Borax, 200 Teile Mennige, 1 Teil Kobaltoxyd, 1 Teil Kupferoxyd, 3 Teile Manganoxyd, 2 Teile Eisenoxyd. Bei diesen Sätzen ist entgegen den Vorschriften von Magnier der Gehalt an Flußmitteln erheblich höher als 50 %. Zur Herstellung von undurchsichtigem Email empfiehlt Herrmann im weiteren den Transemails 10 % Zinnoxyd hinzuzusetzen, oder sich Asche (von 6 Teilen Blei auf 1 Teil Zinn) oder Calcine zu bereiten. Der Schmelzpunkt der Emaille schwankt zwischen 900—1200° C. Nach Segerkegeln würden also die Temperaturen zum Einbrennen zwischen den Schmelzpunkten von Segerkegel 010 und 3 liegen.

Durch Lasur gefärbte Gläser. Unter Lasur versteht man die oberflächliche Färbung der Gläser durch Metalle. Man bedient sich dieser Methode hauptsächlich in der Glasmalerei zur Hervorbringung der gelben Farbe mit Silber. Hierzu nimmt man heutzutage nicht mehr das metallische Silber, sondern man verwendet Chlorsilber und Silberoxyd, und zwar ist die Verwendung des letzteren vorzuziehen, da es bei niedriger Temperatur und leichter reduziert wird. Die Silberverbindungen werden nicht in reinem Zustande aufgetragen, sondern in Verbindung mit einem indifferenten Stoffe, der später wieder entfernt wird. Solche Stoffe sind Thon, Ocker, Eisenoxyd, die vor der Verwendung stark geglüht sind. Zum Zwecke des Lasierens nimmt man nach Graeger: Für Zitronengelb: 1 Teil Chlorsilber und 24 Teile gelben Ocker. Für Goldgelb: 1 Teil Chlorsilber und 18 Teile gelben oder braunen Ocker. Für Orange: 1 Teil Chlorsilber und 12 Teile braunen oder roten Ocker. Für Granatrot: 1 Teil Chlorsilber und 6 Teile roten Ocker. Nach den Untersuchungen von Ebell ist die Zusammensetzung des zu lasierenden Glases gleichgültig, nur allzuschwer schmelzende Gläser eignen sich nicht zur Lasierung.

Durch Lasierung mit kupferhaltigen Präparaten erhält man Gläser, die auf der Oberfläche eine rubinähnliche Färbung erhalten. Zu diesem Zwecke reibt man Kupfer- und Eisenhammerschlag mit Ocker- und Terpentinöl zusammen und trägt den Brei mit dem Pinsel auf. Durch Brennen in der Muffel geht ein Teil des Kupfers in das Glas und färbt dieses dunkelgrün. Durch Reduktion wird das Kupferoxyd zu Metall reduziert, und es tritt die Rubinfarbe hervor. Diese Färbung soll jedoch nur auf bleifreien Kaligläsern gut werden.

Atlasglas. Hiermit bezeichnet man ein Glas, dessen innere Wandung opalweiß, von außen jedoch eine zart gefärbte Oberfläche zeigt. In seiner regelmäßigen, feinen Musterung sieht es dem Atlasstoff ähnlich.

Die Herstellung des Atlasglases ist der von Überfangfarbenglas ähnlich, denn hierzu sind ebenfalls zwei verschieden gefärbte Glasflüsse nötig. Das Ausblasen der Glasposten erfolgt in verschiedenen bemusterten Verblasformen. Der seidenartige Glanz des Glases wird durch schwaches Ätzen hervorgerufen.

Gesponnenes Glas. Die aus dem erweichten Glase hergestellten dünnen Fäden dienen einmal dazu, gewisse Hohlgläser zur Verzierung zu überspinnen, das andere Mal zur Fabrikation von Luxusartikeln aller Art, wie Ballkravatten, Kragen, Manschetten, Uhrketten, Kleidergarnituren, Damenjäckchen, Damenhüte, Spitzen, Tücher u. s. w. Schon früh, spätestens von den altvenezianischen Glasbläsern, wurde der Glasstab gelegentlich vor der Lampe zur Dicke eines feinen Fadens ausgezogen und aus solchen Fäden allerhand Kunststückchen, auch die sogenannten „gewickelten Perlen" hergestellt. Am Ende des 18. Jahrhunderts nahm man diese Technik wieder auf und benutzte, namentlich in Venedig, Frankreich und Böhmen den gewonnenen, biegsamen Faden zu Flechtwerken, gelegentlich auch wohl gemischt mit Seide, zu Geweben, die es indes trotz ihres hohen brokatähnlichen Glanzes zu keiner allgemeineren Verwendung brachten. Ein Verdienst J. de Brunfauts in Wien war es, diese Kunst wesentlich zu vervollkommnen. Durch außerordentlich feines Ausziehen der Fäden, wodurch dieselben elastischer wurden, gelang es Brunfaut, diese Kunst auf eine Stufe zu erheben, die ihr allem Anschein nach eine gewisse Zukunft eröffnete. Auch Brunfaut spinnt das Glas vor der Lampe; ein Stab desselben von etwa 4—5 qmm Querschnitt wird in der Flamme eines Gebläses erhitzt, von ihm mittels eines zweiten Stäbchens ein Faden ausgezogen und dieser auf einen in der Nähe rotierenden Haspel oder Trommel geworfen, auf welche sich dann der fortgesponnene Glasfaden aufwickelt. Der Zusammensetzung nach zeigen ältere Glasgespinste große Verwandtschaft mit dem böhmischen Krystallglas.

Brunfauts Glas ist, der Zusammensetzung nach, fast identisch mit gewöhnlichem Hohlglase.

Neben geradfadigem Gespinst stellte Brunfaut auch gelockte Fäden her, die er zu Schmuckgegenständen, sowie zu einer besonders schönen „Glaswatte" verwendet. Heutigestags liefern insbesondere die Thüringischen Fabriken Glaswolle zu bedeutend billigeren Preisen als früher, die in ihrer Güte der Brunfautschen nicht nachsteht.

Von farbigen Gläsern konnten bis jetzt in dünnen Fäden erzeugt werden: weiße, grüne, lila, rosa, gelbe, gelbliche, braune, blaue. In der Industrie hat jedoch die Glasspinnerei keine Bedeutung zu erringen vermocht.

Wasserglas. Unter Wasserglas versteht man die in Wasser sich lösenden Verbindungen von Kieselsäure, Kali und Natron in wechselnden Verhältnissen. Man unterscheidet das Kaliwasserglas, das Natronwasserglas und Kali-Natron-Wasserglas (Doppelwasserglas und Fixierungswasserglas), d. i. Kaliwasserglas mit einem bestimmten Mengenverhältnis Natronwasserglas gemischt.

Die Kieselsäure verbindet sich mit Kali in mehreren Verhältnissen; da es nicht gelingt, irgend eine dieser Verbindungen krystallisiert zu erhalten, so konnte die Formel derselben nicht genau festgestellt werden, doch nimmt man in neuerer Zeit fast allgemein an, daß das Kaliwasserglas ungefähr der Formel entspricht: $K_2O, 4SiO_2$. Man erhält solche oder ähnliche Verbindung durch Auflösen von amorpher Kieselsäure in Kalilauge oder man schmilzt krystallisierte Kieselsäure: Quarz, Bergkrystall mit kohlensaurem Kali und Holzpulver zusammen. Letzteres bewirkt die vollständige Austreibung der Kohlensäure, indem es dieselbe zu Kohlenoxyd reduziert. Zurückgebliebene Kohlensäure äußert stets einen nachteiligen Einfluß auf die Verbindung. Beim Erwärmen löst sich diese in Wasser, und die Lösung stellt dann das sogenannte Wasserglas dar. Die Auflösung des Wasserglases trocknet auf Holz oder Papier gestrichen zu einem glasartigen Firniß ein, wodurch diese Gegenstände weniger leicht feuerfangend werden. Man wendet daher das Wasserglas an, um Holzwerk, Bedachungen, Vorhänge, Theaterrequisiten, Ballettkleider, Coulissen und

dergleichen vor Entzündlichkeit zu schützen. In der Stereochromie findet es zur Fixierung von Wandgemälden Anwendung. Das Natronwasserglas ist ein Natriumsilikat. Von diesem Salze und seiner Zusammensetzung gilt dasselbe wie vom Kaliwasserglase. Wie letzteres ist es ein Bestandteil vieler Mineralien und des Glases. Die wässrige Auflösung wird wie das Kali-Wasserglas durch Schmelzen von kohlensaurem Natron und Kieselsäure hergestellt. Es dient denselben Zwecken wie das Kali-Wasserglas. Beide Sorten Wasserglas werden außerdem zur Herstellung von Kunststeinen als bestes Kittmittel gebraucht.

Zur Herstellung von Kaliwasserglas werden nach Schür zusammengeschmolzen 90 kg weißer Sand, 62,5 kg gewöhnliche 90prozentige Pottasche und 1,5 kg gepulverte Holzkohle. Das Schmelzen kann in Glashäfen oder Abstichwannen vorgenommen werden. Die geschmolzene Masse wird dann gemahlen und in etwa 5 Teile siedenden Wassers eingetragen und 3 bis 4 Stunden bis zum Sieden erhitzt. Alsdann läßt man absetzen und zieht die überstehende klare Flüssigkeit ab. Häufig enthält die Pottasche Schwefelkalium, welches man mit Kupferhammerschlag zerstört. Der Billigkeit halber kann man die Pottasche durch Kaliumsulfat ersetzen und das Wasserglas herstellen aus 90 kg Sand, 80 kg Kaliumsulfat und 12 kg gemahlener Holzkohle. Diese Mengen werden unter Umrühren so lange geschmolzen, als noch schwefelige Säure entweicht. Das Kaliwasserglas wird auch hergestellt durch Auflösen in Kalilauge unter einem Druck von 6—8 Atmosphären aus 47 Teilen Ätzkali mit etwa 65 Teilen Feuersteinpulver. Lauge und Feuerstein bringt man in einen verschlossenen Kessel, der mit einer Rührvorrichtung, einem Manometer und einem Sicherheitsventil versehen ist. Das Kochen dauert 10—12 Stunden. Nachdem der Inhalt des Kessels sich geklärt hat, zieht man die Flüssigkeit ab und dampft sie ein bis zum spezifischen Gewicht von 1,24—1,25. Ferner stellt man Kaliwasserglas her durch Auflösen von Infusorienerde in Kalilauge. Die Infusorienerde enthält etwa 90% Kieselsäure und wird zur Zerstörung der organischen Substanz zuerst geglüht. Man wendet zur Herstellung von Wasserglas auf 74 g Infusorienerde 33 g Kalium causticum an, und erstere wird nach und nach unter Zusatz von Wasser in die Lauge eingetragen. Die rötliche Färbung der Lösung kann man durch Fällen mit kaltem Kalkwasser beseitigen.

Zur Herstellung von Natronwasserglas schmilzt man nach Fuchs 45 Teile Quarzpulver, 23 Teile geschmolzenes kohlensaures Natron und 6 Teile Holzkohlenpulver, oder man ersetzt das kohlensaure Natron durch entwässertes Glaubersalz. Die weitere Darstellung ist genau dieselbe wie beim Kaliwasserglas. Auf nassem Wege kann man Natronwasserglas durch Kochen von 65 Teilen Quarzpulver mit 40 Teilen Natronhydrat herstellen. Wie das Kaliwasserglas läßt sich auch das Natronwasserglas aus kaustischer Soda herstellen.

Die betreffenden Gemenge werden in Wannenöfen mit Gasfeuerung geschmolzen. Zum Auflösen des festen Glases verwendet man in neuerer Zeit bottichartige, feststehende Apparate, welche mit einem eigenen Rührwerk zum Mischen versehen sind und in welche das gepulverte Glas mit dem 5—6fachen Gemisch Wasser eingetragen wird. Die Beheizung geschieht mittels Dampf, und die Dauer des Kochens beträgt 3—4 Stunden. Der Apparat wird nun in Behälter entleert und in Fässern zum Verkauf gebracht.

Unter Doppelwasserglas versteht man eine Mischung von 1 aeq. Natron mit 1 aeq. Kaliwasserglas. Es wird hergestellt durch Vermischen von gleichstarken Lösungen der beiden Wasserglassorten, und zwar aus 2 Volumina Natron und 3 Volumina Kaliwasserglas. Oder man schmilzt 53 Teile calcinierte Soda und 69 Teile calcinierte Pottasche mit 120 Teilen Kieselsäure oder 130 Teilen Feuerstein oder 150 Teilen Infusorienerde. — Das Fixierungswasserglas ist eine mit Kieselsäure gesättigte Kaliwasserglaslösung, der auf 4—5 Volumina 1 Volumen Natronwasserglas hinzugesetzt ist.

Das Wasserglas kommt stets als Lösung in den Handel und stellt gewöhnlich eine gelbliche, opalisierende, sirupartige Flüssigkeit vom spezifischen Gewicht 1,35—1,37 und einem Gehalt von 52—53% wasserfreiem Wasserglase dar. Durch Abdampfen der Lösungen erhält man trockenes Wasserglas; dieses ist amorph, spröde, opalähnlich, von muschligem Bruche und in reinem Zustande weiß. Stärker erhitzt bläht sich die Masse stark auf und schmilzt schließlich.

Durch Säuren, auch durch Kohlensäure, wird das Wasserglas unter Abscheiden von Kieselsäure zersetzt. Die Lösung von Wasserglas wird von reinem Alkohol gefällt und zwar Kaliwasserglas vollständig, während Natronwasserglas schwerer und bei Gegenwart von freiem Alkali überhaupt nicht gefällt wird.

Die Alkalisalze fällen die Wasserglaslösung, und dieselbe erstarrt bei nicht zu großer Verdünnung zu einer Gallerte. Salmiak wirkt schon in geringer Menge, wobei sich

freies Ammoniak bildet und Kieselsäure abgeschieden wird. Die alkalischen Erden, sowie Thonerde, Bleioxyd, Zinkoxyd, zersetzen das Wasserglas und bilden mit der Kieselsäure und einer gewissen Menge Alkali unlösliche Niederschläge. Die Wasserglaslösung wird außerdem durch die Salze der Erden- und Metalloxyde gefällt. Viele im Wasser schwer oder unlösliche Salze setzen sich mit Wasserglaslösung um, so schwefelsaures, kohlensaures, phosphorsaures Bleioxyd, phosphorsaure Thonerde, schwefelsaurer Kalk u. s. w.

Manche unauflösliche Salze, wie kohlensaurer und phosphorsaurer Kalk, verbinden sich mit dem Wasserglas direkt ohne Zersetzung. Auf dieser Eigenschaft beruht die Anwendung des Wasserglases zur Herstellung von künstlichen Steinen.

Perlenfabrikation. Perlen werden aus dünnen feinen Glasröhren durch Zerschneiden derselben und Abrunden der Stücke hergestellt. Das Abrunden erfolgt durch Erweichenlassen der Röhrenteilchen, und dabei ist darauf zu sehen, daß die Löcher im Inneren der Perlen nicht zuschmelzen. Dies verhindert man durch Zugabe von Thon- und Kohlenpulver in die zur Erwärmung beschickte Trommel, die anhaltend in drehende Bewegung versetzt wird.

Nach dem Abrunden breitet man die Perlen auf einem Eisenbleche aus und läßt sie erkalten. Von dem anhaftenden Pulver befreit man die Perlen durch Schütteln in Sieben. Um die guten von den mißgestalteten zu scheiden, bringt man die Perlen auf eine schiefe Ebene, von welcher die guten abrollen, die schlechten liegen bleiben.

Zum Abschleifen bringt man die Perlen in einen Sack mit feinem Sande, der hin- und herbewegt wird, und schließlich in einen Sack mit Kleie zum Polieren. Von der Kleie werden dann die Perlen durch Absieben getrennt und auf Schnüre gezogen. Größere Perlen werden von Arbeitern über Thonkügelchen geformt. Die erhaltenen Perlen können durch Aufschmelzen von bunten Fäden und durch Vergolden, Versilbern u. s. w. mannigfaltig verziert werden.

Wahrscheinlich hat sich schon die phönicische Weltmarkts-Industrie mit der Herstellung jener mehrfarbigen gläsernen Schmuckperlen befaßt, die, wie noch heute, so schon im Altertum ein wichtiger Tauschartikel im Verkehr mit Völkern niederer Kulturstufe waren. Selbst in Nordamerika werden sie in Gräbern gefunden, die älter sind als die Entdeckung des neuen Weltteils durch Christoph Kolumbus.

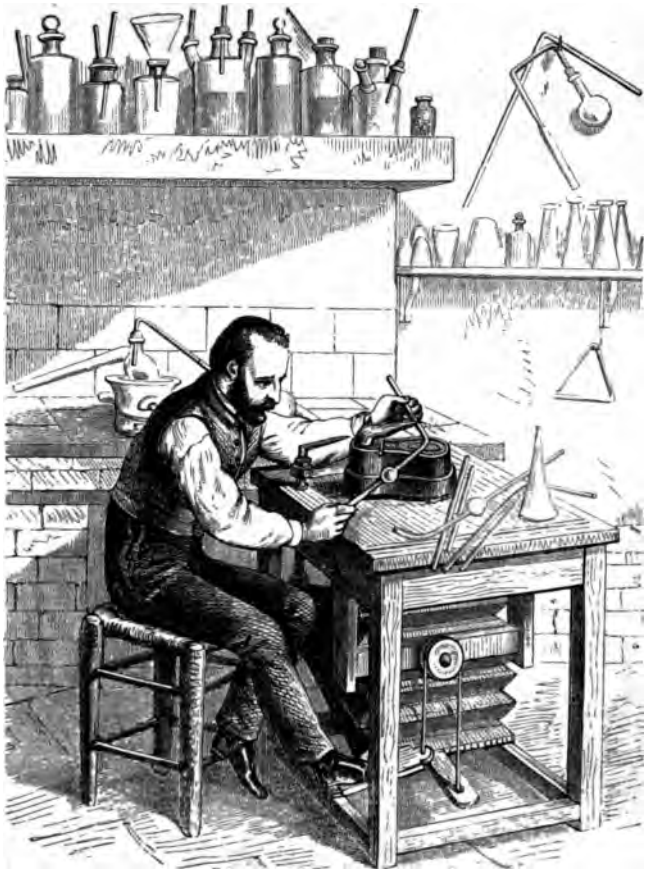
Arbeiten vor der Glasbläserlampe.

Viele Gegenstände lassen sich nur vor der Lampe anfertigen, z. B. physikalische und chemische Apparate, Thermometer, Barometer, Aräometer, künstliche Augen, gesponnenes Glas, Nadeln, Broschen, Blumen u. s. w. Die Werkzeuge des Glasbläsers sind ein Gebläse, eine Schere zum Putzen des Dochtes, eine Pinzette, eine flache Zange, eine dreikantige Feile, ein feiner Schleifstein, ein Röhrenhalter und ein kleiner Kasten zur Aufnahme von Glasenden. Kugelröhren für Thermometer dürfen nicht mit dem Munde geblasen werden, da sich sonst Feuchtigkeit in die Röhren setzt, die nicht mehr entfernt werden kann. Zur Herstellung der Kugel schließt man daher das Rohr an beiden Enden und erwärmt eine Stelle, die sich dann durch den inneren Druck zur Kugel formt. Auch die Imitationen von echten Perlen werden vor der Glasbläserlampe hergestellt, wobei die ordinären im Inneren einen Überzug von weißem Wachs, die besseren einen solchen von Perlenessenz erhalten. Diese wird aus den Schuppen der Weißfische (Cyprinus alburnus) hergestellt.

Verzieren des Glases durch Schliff und Schnitt.

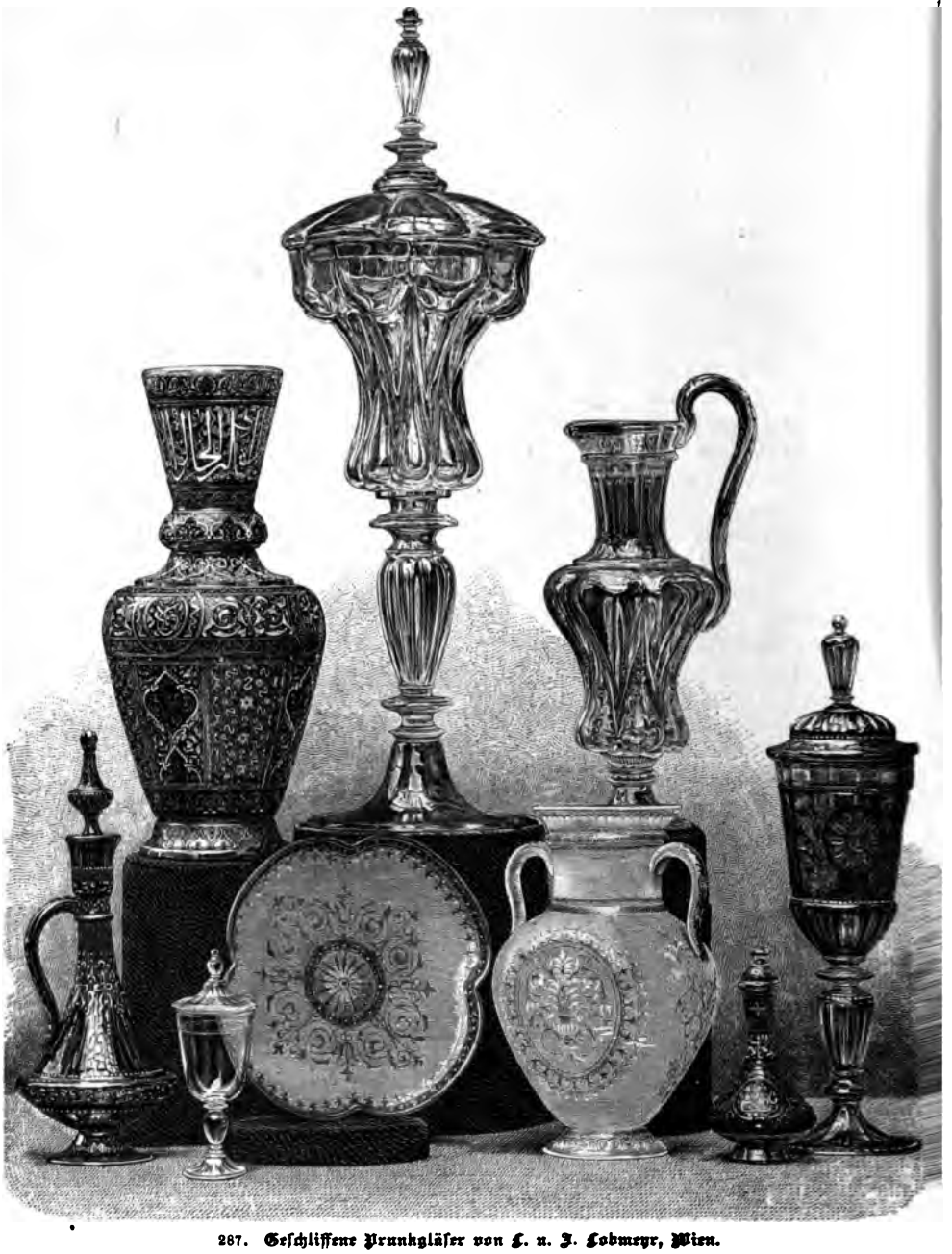
Das Schleifen und Schneiden des Glases scheint, wie altägyptische Funde bezeugen, fast so alt zu sein, wie die künstliche Bearbeitung des Glases überhaupt. Im alten Rom wurde beides mit Vollendung geübt. Darüber, ob während des Mittelalters in deutschen Landen die Veredelung des Glases durch Schliff und Schnitt in Übung geblieben, gehen die Meinungen auseinander. Auch die Italiener der Renaissance verzierten nur Gefäße aus natürlichem Krystall, keine Glasgefäße, durch Schleifen oder Schneiden mit Hilfe des Rades. Der Gedanke, die kostbaren Bergkrystallgefäße in künstlichem Glase nachzuahmen,

führte gegen Ende des 16. Jahrhunderts zuerst in Böhmen zu einem Umschwung im Stile der Gläser. Anfänglich nur von wenigen Künstlern als Luxusgewerbe geübt, erlangte das Verfahren gegen Ende des 17. Jahrhunderts solche hohe Vollendung und so allgemeine Beliebtheit, daß es schließlich sogar die venezianische Glasindustrie aus ihrem alten Besitzstande verdrängte. Neben dem nördlichen Böhmen war Schlesien Hauptsitz der Glasschleiferei, doch wurde auch in Nürnberg, Regensburg, Potsdam und Berlin der Glasschnitt betrieben. Zu Anfang des 19. Jahrhunderts machte sich eine neue Richtung in den deutschen und böhmischen Glasschleifereien geltend. Waren bis dahin, dem jeweilig herrschenden ornamentalen Geschmack entsprechend, vertiefte Verzierungen in die Flächen der Gläser geschnitten worden, so fing man nunmehr an, englischen Vorbildern gemäß, auf Ornamente zu verzichten und den Brillantschliff zu pflegen. Die lichtbrechende Eigenschaft des englischen Kryſtallglaſes kam in dem reizenden Farbenspiel der Facetten, in welche die Außenflächen der Gläser zerlegt wurden, zu wirksamer Geltung. Diese Art des Schliffes, welche sehr dickwandige Gläser verlangte und daher zu plumpen Formen führte, wurde Jahrzehnte hindurch besonders in Böhmen geübt. Die böhmischen Gläser haben bis heute ihren alten Ruf bewahrt, oder vielmehr in neuerer Zeit, nachdem seit der ersten Weltausstellung des Jahres 1851 die europäische Glasindustrie einen neuen Aufschwung genommen, wiedergewonnen, besonders dank der Bestrebungen L. u. J. Lobmeyrs in Wien. Doch wird auch in Deutschland hervorragendes geleistet. In Frankreich ist der kunstvolle Schnitt des Kryſtallglaſes zu hoher Vollendung gelangt, in jüngster Zeit wurde durch Em. Gallé in Nancy auch der Schnitt farbig überfangener Glasgefäße nach altchinesischer Art gepflegt. Auch in England ist der Brillantschnitt des schweren Flintglaſes nach Mustern vom Anfange dieses Jahrhunderts wieder beliebt geworden.



286. Glasbläser an der Lampe.

Das Schleifen wird besonders häufig angewandt, sowohl um die Oberfläche des Glaſes zu ebnen und zu polieren, wie bei den Spiegelgläsern, als auch um Facetten, Kanten und Flächen anzubringen. Außerdem benutzt man auch eine Art feiner Schleifapparate, um in die Masse des Glaſes hinein vertiefte Zeichnungen, Verzierungen, Inschriften u. s. w. zu graben. Die Technik des Schleifens bedient sich ganz derselben Hilfsmittel, welche auch zum formgebenden Schliff am gewöhnlichen Weißhohlglaſe und böhmischen Kryſtall gebraucht werden. Auch hier zerfällt die mechanische Bearbeitung des Glaſes



287. Geſchliffene Prunkgläſer von L. u. J. Lobmeyr, Wien.

durch den Schliff in drei geſonderte Operationen: das Rauhſchleifen, Klarſchleifen und Polieren. Die Werkzeuge ſind rotierende Schleifkörper, Scheiben, Platten oder Spitzen, welche entweder durch ihre eigene Subſtanz oder durch aufgeſtreute Körper das Glas angreifen. Es klingt unglaublich, wenn man erfährt, daß die reizenden Effekte, welche namentlich engliſche und böhmiſche Glaswaren in großer Vollendung zeigen, durch nichts weiter hervorgebracht worden ſind, als durch Andrücken des Glaſes an die rotierende Schleifſcheibe, und daß dieſe Verzierungen von gewöhnlichen Arbeitern bewirkt werden,

bei denen ein gebildeter künstlerischer Sinn durchaus nicht vorauszusetzen ist, die sich auch nur für besonders schwierige Muster einer Vorzeichnung bedienen. Die Schleifapparate werden in Böhmen meist von Wasserkraft in Bewegung gesetzt, und die Schleifmühlen liegen gewöhnlich in der Nähe großer Glashütten oder umgeben von Ortschaften, in denen andere Zweige der Glasindustrie, Knopf-, Prismen-, Perlenfabrikation u. s. w. betrieben werden; in England schleift man mit Dampf. Die Schleifbänke sind fast nichts anderes als einfache Drehbänke; sie haben eine liegende Spindel, deren freies Ende zum Aufstecken der verschiedenen Schleifscheiben eingerichtet ist. Die Schleifscheiben sind nach

288. Schleifen und Polieren des Krystallglases.

der Größe, Form und Material sehr mannigfaltig. Einige bestehen aus hartem Sandstein, haben 12—20 cm Durchmesser und 1—2 cm Dicke. Nächstdem gibt es Scheiben größerer Art aus Eisenblech und ein ganzes Sortiment kleinerer aus stark gehämmertem Kupfer, von Fünfmarkstück- bis zu Zwanzigpfennigstückgröße und noch weiter herab. Je feiner die Verzierungen werden, wie zu den kleinen vertieften Landschaften, Wappen, Namenszügen u. dergl., desto kleiner werden auch die Scheiben, die dann anstatt von Kupfer auch wohl von Stahl sind und mit Schmirgel oder Diamantstaub arbeiten. Das vertiefte Einarbeiten von Mustern, Zeichnungen, Schrift u. s. w. in die Glasfläche, nennt man zum Unterschiede vom Schleifen, welches mehr auf Facetten uud dergleichen bezogen wird, Gravieren. Zu den kunstvolleren Gravierarbeiten helfen übrigens auch noch andere Hilfsmittel, namentlich die Diamantspitze mit. — Auf der Pariser Ausstellung

von 1867 war von einer engliſchen Firma ein gravierter Claret-(Rotwein)-Krug ausgeſtellt, im Preiſe von 4500 Mark. Wir erwähnen dies, um zu zeigen, welche Sorgfalt und Kunſtfertigkeit an dem Werke angewandt ſein mußte, deſſen Materialwert ſich kaum auf drei Mark belief.

Die Verſchiedenheit der Schleifſcheiben bezieht ſich nicht allein auf den Durchmeſſer und die Dicke, ſondern hauptſächlich auf die Kante, den eigentlich arbeitenden Teil; dieſelbe iſt bald flach, bald erhaben oder tief gewölbt, bald ſcharfkantig bis zur Meſſerſchärfe, und der Schleifer hat den Umſtänden nach zu wählen, was für jeden Fall am beſten paßt. Beim Schleifen von größeren oder kleineren Flächen wird zuerſt durch das ſogenannte Rauhſchleifen die überflüſſige Subſtanz weggenommen; dazu dienen denn auch energiſche Schleifmittel, gewöhnlich ein harter, ſcharfkantiger Sand; dann folgt das Klarſchleifen, welches die Oberfläche glättet, und endlich das Polieren mittels Scheiben aus Zinn, Kork, Holz, letzteres zuweilen mit Filz überzogen. Das Schleifen von Facetten an Prismen, Leuchterbehängen, Perlen u. ſ. w. iſt ſehr einfach; bei beſonders genauen Arbeiten kann es auf ähnliche Weiſe ausgeführt werden, wie das Schleifen der Edelſteine. In der Regel aber wird auf die Herſtellung der Produkte eine viel geringere Sorgfalt verwandt. Trotzdem zeigen dieſelben jedoch häufig eine mathematiſche Regelmäßigkeit, denn die unausgeſetzte Übung derſelben Handgriffe läßt ſchließlich den Schleifer mit der Genauigkeit einer Maſchine arbeiten. Die Arbeit eines geſchickten Glasſchleifers geht ſehr flink von ſtatten, und in unglaublich kurzer Zeit ſtellt er durch bloßes Anlegen eines Gefäßes an das umlaufende Scheibchen und durch entſprechendes Drehen und Wenden die geſchmackvollſten Verzierungen her. Bei den kunſtvollen Gravierungen jedoch, wie ſie an den Prachtſtücken der Ausſtellungen zu bewundern ſind, treten zu dieſen Hilfsmitteln noch die ſubtileren Verfahren, die der Graveur und Steinſchneider benutzt.

289. Chineſiſches Gefäß von weißlichem Glas mit blauem Überfang, aus dem die Ornamente geſchnitten ſind. (18. Jahrh.) 1/3 nat. Größe. Jetzt im Hamburger Muſeum für Kunſt und Gewerbe.

Die Herſtellung von helleren Muſtern auf gewiſſen farbigen Gläſern, die durch Überfang hergeſtellt ſind, geſchieht dadurch, daß die obere farbige Schicht an den betreffenden Stellen durch die Schleifſcheibe beſeitigt wird. Wenn die Gegenſtände rund ſind, ſo kann dieſer Effekt ſchon durch das Auflegen auf eine flache Scheibe hervorgebracht werden, welche die Rundung zu einer ebenen Fläche abſchleift; wo dies nicht genügt, müſſen die kleinen Schleifſcheiben angewandt werden, welche mit ihren Kanten die Vertiefungen ausarbeiten.

Der Firma Solpp, Schwarz & Co. iſt eine Maſchine patentiert, die ein in ihr eingeſpanntes Hohlglas automatiſch mit einer vorgeſchriebenen Anzahl Facetten verſieht. Hierbei dient ein ſich gleichmäßig drehender Sandſtein als Werkzeug, wobei folgende Arbeiten durch die Maſchine ausgeführt werden: Zunächſt muß das Glas mit einem beſtimmten Druck gegen den Schleifſtein gepreßt werden, bis die Facette auf eine beſtimmte Tiefe ausgeſchliffen iſt. Alsdann muß das Glas von dem Schleifſtein entfernt und um einen Winkel gedreht werden, welcher genau der Anzahl der gewünſchten Facetten entſpricht. Dieſe Operation muß ſich nun ſo oft wiederholen, bis die letzte Facette ausgeſchliffen iſt. Mittels einer ſolchen Maſchine vermochte ein Mann in zehn Stunden 240 ganz- und 480 halbfacettierte Gläſer herzuſtellen. Eingeführt haben ſich aber derartige Maſchinen deshalb nicht, weil die beweglichen Teile derſelben zu leicht durch den Schleifſtaub an-

gegriffen und zerstört werden. Man bedient sich daher in der Regel der älteren Schleifmaschinen.

Wie das Schleifen, ist das Schneiden des Glases sehr mannigfaltig. Man unterscheidet den groben, feinen, scharfen, flachen Schnitt, und dem Muster nach den Karoschnitt, den gestreiften Schnitt, den Schnitt mit Guirlanden, mit Blumen, Figuren, Buchstaben, Wappen u. s. w. Es ist eigentlich nichts anderes als ein teilweises Schleifen, indem einzelne Teile des Glases fortgenommen werden und andere stehen bleiben. Man bedient sich daher auch ähnlicher Mittel, nämlich vertikal rotierender Scheiben aus Sandstein, Metall oder Holz in den verschiedensten Dimensionen herab bis zur Größe eines Stecknadelkopfes, sowie der Bürstenräder, um Druck und Bewegung hervorzubringen und des Sandes, Tripels, Schmirgels u. s. w. zum Schleifen und Polieren.

Das Bedrucken der Gläser.

Zum Dekorieren des Glases wird gegenwärtig viel das Druckverfahren angewandt. Die Art der Herstellung ist recht verschieden. Da ist erstlich das Druckverfahren mit der Schablone; dieses wird am meisten bei Tafelglas angewandt. Dann Druckverfahren von Zink-, Kupfer- oder Stahlplatten; dasselbe wird benutzt beim Übertragen der gegen Sandstrahl, Matt- oder Tiefätzung widerstandsfähigen Druckfarbe, auch bei einfarbigen oder bunten Schmelzfarben. Oder man benutzt elastische Gummiplatten, Gummistempel zum Übertragen von einfachen, kleinen Mustern, Spitzmarken u. s. w. zum Zwecke der Ätzung oder für Farbendruck. Oder aber man wendet den lithographischen Stein- oder Zinkdruck an, einfarbig oder bunt, wozu auch die im Handel vorkommenden Abziehbilder gerechnet werden.

Der Schablonendruck zur Verzierung der Tafelgläser ist sehr einfach. Er besteht darin, daß man eine gegen die Wirkungen des Sandstrahles widerstandsfähige Farbe auf die Glastafel überträgt, wobei die nicht gedeckten Stellen vom Sande angegriffen und mattiert werden. Diese Schablone besteht aus einer $^1/_2$ mm starken Zinkblechtafel, in welcher das Dessin, meistens ein regelmäßig sich wiederholendes Flachornament, genau auf dieselbe Art, wie bei den Schablonen der Zimmermaler, durchbrochen erscheint. Die zum Drucke bestimmte Druckfarbe muß derart beschaffen sein, daß sie vom Sandstrahl nicht angegriffen wird, sie muß demnach eine genügende Elastizität besitzen und sich in ziemlicher Stärke ablagern lassen, ohne Faden zu ziehen oder zu schmieren. Man verwendet zu dem Zwecke verschiedene Mischungen von Leim, Gummiarabikum, Stärkekleister, gemischt mit Zinkweiß, Pfeifenthon oder Kaolin, auch mit Glycerin versetzt, damit sie nicht so schnell trocknet. Die Glastafel ist gewöhnlich größer als die Schablone. Dies muß beim Drucken berücksichtigt werden, indem man die Abdrücke nebeneinander angepaßt auf die Glastafel anbringt. Der Arbeiter legt zu dem Zwecke die Glastafel auf einen ebenen, festen Tisch, paßt die Schablonen an das eine Ende der Tafel an, worauf er mit einem gerade zugeschnittenen, geschliffenen 8—10 cm breiten Eisenspatel eine genügende Menge Druckfarbe auf die Schablone bringt und erstere gleichmäßig über das ganze Dessin verstreicht. Dabei darf die Schablone nicht verschoben werden. Die Farbe wird nun derart in das Muster gepreßt, daß sie sich an der Tafel ablagert, wobei gleichzeitig hinter dem Strich die Schablone rein bleiben soll. Das Abheben der Schablone muß sehr vorsichtig geschehen, denn die frische, weiche Druckmasse kann sehr leicht verdrückt oder verschmiert werden. Ist die Tafel größer als die Schablone und benötigt man mehrere Abdrücke, so läßt man den ersten Druck etwas trocknen, worauf die Schablone genau daneben angepaßt wird, damit das Muster regelmäßig fortläuft. Die auf die Tafel derart aufgedruckte Deckfarbe muß ziemlich reliefartig abgelagert erscheinen. Die Zeichnung sauber und mit scharfen Konturen versehen sein.

Bessere Dekorationen lassen sich jedoch nur mit Hilfe des Druckverfahrens mittels Metallplatten erzielen. Das Druckverfahren mit Metallplatten wird bei feiner ausgeführten Zeichnungen angewandt, um entweder auf keramische Gegenstände einen schützenden Grund zu übertragen, der später wieder entfernt wird, oder um bessere Dessins in Schmelzfarben einzuführen, welche dann durch Einbrennen darauf fixiert werden. Die

erstere Methode benutzt man beim Verzieren der Gläser mittels Sandstrahl, Tiefätze oder Mattätze, das zweite Verfahren, unter dem Namen Farbendruck bekannt, wird auf Glas, Porzellan, Steingut u. s. w. angewandt. In der Praxis bedient man sich einer Druckfarbe, welche aus Gummiabfällen bereitet wird. Zu dem Zwecke werden Gummiabfälle durch Kochen in Terpetinöl aufgelöst. Der so erhaltenen sirupartigen Flüssigkeit wird $^1/_3$ lithographischer Firnis beigemengt, um die Druckfarbe heller zu machen und das Trocknen etwas aufzuhalten. Zum Drucken wird die Masse noch mit Zinkweiß versetzt, indem man die Mischung auf einer Reibtafel so lange verreibt, bis sich keine Knoten mehr zeigen. Die Druckmasse muß die Konsistenz eines steifen Teiges annehmen. Zum Drucken sind mehrere Werkzeuge nötig. Außer den Druckplatten braucht man mehrere gerade abgeschliffene Abziehspachtel von verschiedener Länge, ferner eine kleine Presse. Zum Übertragen der Abdrücke braucht man Tuchlappen nebst Talkpulver oder Federweiß, ein hartes Brett, sowie ein scharfes Messer zum Abschneiden der Abdrücke. Als Druckpapier verwendet man das feinste Seidenpapier, welches ziemlich fest und gut geleimt ist. Die Herstellung der Abdrücke geschieht auf folgende Weise: Der Drucker nimmt mit einem Spatel Druckfarbe und bringt diese auf eine Platte, die auf dem Arbeitstisch ruht, wobei er das ganze Dessin oder dessen vertiefte Stellen sorgfältigst verstreicht. Der Überschuß der Farbe wird mit einem langen Spatel abgestrichen. Ist die Platte rein abgestrichen, so wird ein Bogen Seidenpapier aufgelegt und darüber eine Lage Tuch; die Platte läßt man hierauf durch die Presse rollen. Alsdann wird die Tuchlage entfernt und das bewußte Seidenpapier vorsichtig abgezogen. Nach dem Abziehen wird die Platte mit frischer Druckfarbe eingespachtelt und der zweite Abzug vorbereitet. Unterdessen wird der erste Abdruck mit scharfem Messer passend zugeschnitten, auf das Glas gelegt und mit einem mit Federweiß bestreuten Lappen sorgfältigst abgerieben, damit sich der frische klebrige Druck mit dem Glase verbindet. Sind einige Glasstücke auf diese Weise bedruckt, so kann man das Seidenpapier durch Eintauchen der Gläser in lauwarmes Wasser leicht entfernen. Zeigen sich fehlerhafte Stellen im Druck, so werden diese mit verdünnter Druckfarbe mittels Pinsel ausgebessert.

Auf denselben Prinzipien beruht das Druckverfahren der gegen die Flußsäure widerstandsfähigen Farben. Das Druckverfahren mit Schmelzfarben wird jetzt fast in allen Glasmalereien angewandt. Man benutzt diese Methode entweder zu dem Zwecke, um einfache Konturen der Zeichnungen zu übertragen, welche dann noch freihändig ausgemalt werden; doch werden auch künstlerisch ausgeführte und reich schattierte Zeichnungen auf diese Weise hergestellt. Die Druckplatten sind aus hartem Stahl und eben geschliffen, das Dessin darin je nach der Feinheit der Zeichnung $^1/_4$—$^1/_3$ mm tief eingeätzt. Zum Drucken benutzt man fein pulverisierte Schmelzfarben, welche mit verdicktem Öl abgerieben werden. Beim Farbendruck unterscheidet man das kalte und das warme Druckverfahren, letzteres stammt aus England und wird häufig in Deutschland angewandt. Zum Vorwärmen der Platten und Farben bedient man sich eines Ofens, dessen obere Platte aus Chamotte besteht, damit die Hitze etwas abgeschwächt wird. Zum Mischen der Schmelzfarben benutzt man verschiedene Firnisse; ein unter dem Namen „Druckerfirnis“ viel gebrauchter Firnis besteht aus 100 Teilen Rüböl, 500 Teilen Steinöl, 15 Teilen Kolophonium, 6 Teilen Bleiweiß, 6 Teilen Glätte und 6 Teilen Schiffsteer oder Holzteer. Diese Mengen werden unter Umrühren eingekocht und dem erhaltenen Sirup noch 300—400 g Schiffsteer beigemischt. Zur Herstellung der Farben verwendet man gewöhnlich auf drei Gewichtsteile Glasfarben einen Gewichtsteil Glasfluß. Das Druckpapier zum Farbendruck ist ein Hanfpapier, das für diesen Zweck erzeugt wird. Ist Farbe und Druckplatte am Ofen vorgewärmt, so wird die Farbe gewöhnlich auf die Platte gebracht und der Überschuß abgestrichen. Alsdann wird das Papier aufgelegt und zwar mit der bestrichenen Seite nach unten, während die andere Seite mit einem Schwamm naß gemacht wird. Darüber wird nun noch Makulaturpapier gelegt und die Platte durch die Presse gerollt. Nun wird der bedruckte Bogen abgezogen und mit der bedruckten Fläche auf den zu verzierenden Gegenstand gelegt, mit Wasser angefeuchtet und mit einer kleinen Gummirolle überwalzt. — Das Druckverfahren auf kaltem Wege ist ziemlich dasselbe, nur daß die Druckfarbe mehr Öl enthält. Als Papier dient nun wieder Seidenpapier.

Das Drucken mit Gummistempeln wird manchmal als die billigste Verzierung bei kleinen Gegenständen angewendet.

Eine teilweise Verwendung findet der lithographische Druck zum Ätzen des Tafelglases, zur Herstellung des Achatdruckes auf Beleuchtungsgegenständen, sowie der bunten, abziehbaren Schmelzfarbenbilder. Als Druckpapier dient stärkeres ungeleimtes Papier, das vor der Verwendung mit einer Lösung von 250 g Weizenstärke und 150 g Gummiarabikum bestrichen ist. Auf der Walzenplatte richtet man sich die Farbe zum Drucken her und legt dann das getränkte Papier auf den Stein, bedeckt es mit dem Preßspan und zieht es einmal durch die Presse. Das bedruckte Papier wird eingestäubt mit Asphaltstaub oder einem Pulver, welches aus 1 kg Mennige und 100 g Borax besteht. Sind die Abdrücke gut trocken, so werden sie mittels eines Gänseflügels abgestäubt und mit verdünntem Dammarlack bestrichen und getrocknet. Alsdann werden die Tafeln vorgewärmt und die bedruckten Flächen aufgelegt, feucht angerollt und schließlich das Papier entfernt. Das Abziehverfahren ist folgendes:

Das Bild wird knapp an den Rändern ausgeschnitten und einige Minuten vor der Verwendung angefeuchtet. Der zu verzierende Gegenstand wird dann dünn mit Dammarlack angepinselt. Nach einiger Zeit wird dann das Bild aufgelegt und mittels einer kleinen Walze angerollt, wobei die Rückseite des Papiers befeuchtet wird. Nach dem mehrmaligen Walzen und Befeuchten kommt der Gegenstand in lauwarmes Wasser, bis sich das Papier von selbst löst.

Die zurückgebliebene Schleimschicht wird mit einem feuchten Schwamm abgetupft und wenn das Bild trocken ist, im Muffelfeuer eingebrannt.

Verzierung des Glases durch Ätzen.

Zum Ätzen des Glases benutzt man Fluorwasserstoffsäuren oder einige Präparate derselben. Die Anwendung der Flußsäure zum Ätzen des Glases gründet sich auf der großen Verwandtschaft des Fluors zum Kiesel oder Silicium, mit welchem dasselbe eine gasförmige Verbindung, Fluorsilicium, bildet. Kommt Fluorwasserstoff mit einem Silikat in Berührung, so tritt das Fluor desselben mit dem Kiesel, der Kieselsäure, zu Fluorkiesel und sein Wasserstoff mit dem Sauerstoff derselben zu Wasser zusammen, während gleichzeitig auch die Basen des Silikats in die entsprechenden Fluorverbindungen übergehen. Den Fluorwasserstoff wendet man an als Gas, als wässerige Lösung, oder auch in statu nascendi in einem Gemenge von gepulvertem Flußspat und Schwefelsäure oder von Fluoralkalien mit Salz- oder Essigsäure.

Von besonderer Wichtigkeit für die Beschaffenheit der Ätzung ist die Zusammensetzung des Glases und die Dauer der Einwirkung der Flußsäure. An vorher mattierten Gläsern kann man je nach der Dauer der Ätzung verschiedene Tönungen hervorbringen. Ätzungen auf blankem Bleiglase fallen auch blank aus, gleichviel, ob man stark oder schwach ätzt oder längere oder kürzere Zeit die Säure einwirken läßt. Jede Abweichung in der Zusammensetzung des Glases wird auch beim Ätzen fühlbar und muß durch längeres oder kürzeres Ätzen, schwächere oder stärkere Säure ausgeglichen werden. Im allgemeinen ist bekannt, daß die Alkalibleigläser zum Ätzen am geeignetsten erscheinen, wovon die Tiefätzungen am französischen Bleiglase, bei Hohlglas und Beleuchtungsgegenständen den besten Beweis liefern. Das mattierte Bleiglas läßt sich durch Ätzen mit Flußsäure wieder ganz blank glänzend herstellen, während die Tiefätzung auf dem Kali-Kalkglase unter gleichen Umständen matter ausfällt. Natronglas wird beim Ätzen mit Flußsäure vollständig rauh und matt, doch wird dieses vorzugsweise zum Ätzen in verschiedenen Tonabstufungen benutzt.

Die verschiedenen Materialien, die zur Bereitung der nötigen Mattbäder verwandt werden, bestehen aus Lösungen, so z. B. aus Fluornatrium, Fluorkalium, schwefelsaurem Kali, Salzsäure, Schwefelsäure, Essigsäure, Trockenätzpulver, Fluorwasserstoffsäure und zum Verdünnen Wasser. Die Mattbäder werden verschieden zusammengesetzt, und man unterscheidet Mattbäder für Tafelglas und solche für Hohlglas. Bei der Mattätzung von Hohlglas, welches zumeist aus Beleuchtungsgegenständen oder Luxusglas besteht, wird das Matt nicht so dicht und körnig verlangt, wie bei der Ätzung auf

Tafelglas. Derartige Mattbäder müssen hauptsächlich sofort wirken und eine gleichmäßig starke, dabei fleckenlose Mattierung liefern. Zur Bereitung der Mattbäder für Hohlglas nimmt man nach Miller 100 g schwefelsaures Kali, 100 g Salzsäure, 200 g Fluorkalium, 400 g Wasser und 100 g Flußsäure oder 200 g Salzsäure, 150 g schwefelsaures Kali, 300 g Fluornatrium, 150 g Fluorwasserstoffsäure, 600 g Wasser. Der zu ätzende Gegenstand von Glas wird an den Stellen, wo die Zeichnung angebracht werden soll, mit dem Ätzgrund der Kupferstecher bedeckt, oder nachdem das Glas etwas erwärmt worden ist, durch Überziehen mit Lösung von 1 Teil weißem Wachs, 1 Teil Mastix, 1½ Teilen Asphalt oder von 3 Teilen gelbem Wachs, 1 Teil Terpentin und 1 Teil Schmalz. Auf den so vorbereiteten Grund wird die Zeichnung nach einer der beim Ätzen von Kupferplatten gebräuchlichen Methoden aufgetragen, worauf man mit dem Stichel oder der Radiernadel den Linien der Zeichnung folgt und hierbei bis auf die Oberfläche des Glases eindringt.

290. Einmalige Ätzung.

Zeichnungen kann man auch auf folgende Weise behufs Einätzung übertragen: Man stellt eine gereinigte Glasplatte über die Zeichnung, die man einätzen will, auf eine Staffelei gegen das Licht und malt nun mittels eines Pinsels die Konturen der Zeichnung sorgfältigst nach, und zwar mit einer Asphaltlösung in Kamphin.

Will man in mehreren Tönen ätzen, so wird beim zweiten Ätzen die Stelle, die heller bleiben soll, mit Asphaltlösung vor der Flußsäure geschützt, so daß nur die freien Stellen stärker geätzt werden. Außerdem werden die am stärksten mit Asphalt bedeckten Stellen gar nicht, die schwachgedeckten Mitteltöne dagegen wenig und die ungedeckten Lichter vollkommen geätzt, so daß das Bild denselben Effekt wie im gemalten Zustande macht.

In einer ostpreußischen Glasätzerei von C. E. Stoermer in Königsberg in Preußen wurden in den achtziger Jahren Tafelgläser von großen Dimensionen in mehreren Tönungen auf folgende Weise geätzt: Nachdem die betreffenden Zeichnungen, die auf das Glas übertragen werden sollten, ausgesucht und der Größe der zu ätzenden Scheibe angepaßt worden waren, wurden diese hinter der gereinigten Platte befestigt, und zwar in der Regel

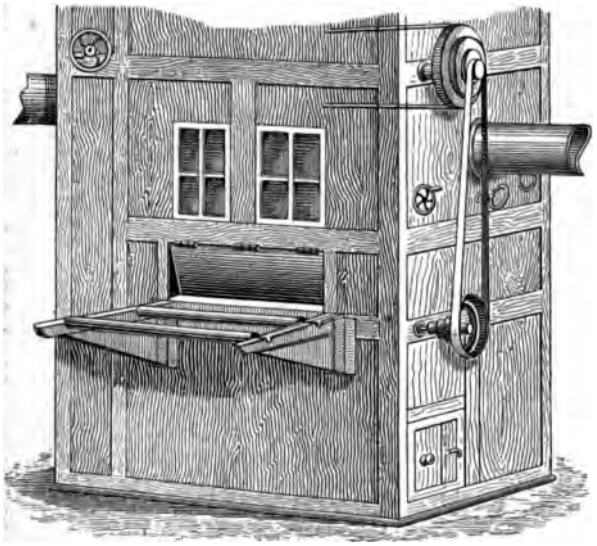
mern an den 4 Ecken, damit die Zeichnung sich nicht verschieben konnte. Die wurde dann mit der Zeichnung auf einen großen, festen Tisch gelegt und die von geübter Hand mittels Malen mit der Asphaltlösung in Kamphin auf die übertragen. Nach dem Fertigstellen nung und Eintrocknen der Malerei, n die Glasplatte mit einem etwa 1 Zoll chsrande, worauf dann die Glasplatte besonderes Holzgestell gelegt wurde, urch eine flaschenzugähnliche Vorrich- egt und gehoben werden konnte. Die t ihrem Gestell kam dann in einen it Zink ausgeschlagenen Behälter und Flußsäure übergossen. Der Behälter einem Deckel verschlossen und je nach ielenden Tönung in der Ätzung 8 bis en, manchmal auch noch länger ruhig überlassen. Nach beendeter Ätzung Tafel mit Hilfe des Flaschenzuges stellt, der Wachsrand an einer Stelle en und die Flußsäure in ein Gutta- ß abgelassen. Nach dem Abwaschen r und Trocknen der Tafel wurden die ie heller bleiben sollten, nochmals mit altlösung überzogen, der Wachsrand gebogen und die Tafel nochmals mit behandelt. Durch wiederholtes Ätzen uf diese Weise mehrfach getönte Zeich- on Figuren und anderen Bildern her- War die Ätzung vollständig beendigt, er Wachsrand entfernt und die Asphalt- mittels Terpentinöl hinweggewaschen. erwähnen wäre noch, daß diese Ätzun- gsweise an mattierten Platten vor- wurden. Außer der reinen Fluß- rden nach der Vorschrift von Miller, en erwähnte Ätzerei einrichtete, andere eiten gebraucht und zwar 1) 5 Teile tes Fluorkalium, 4 Teile pulverisiertes res Kali, 20 Teile destilliertes Wasser, e Salzsäure. 2) 50 Teile Fluor- n, 5 Teile pulverisiertes schwefelsaures l, 50 Teile destilliertes Wasser, 10 Teile vefelsäure. Beide Mischungen werden er Art des zu erzielenden Mattes in n Verhältnissen miteinander gemischt, häufig ein Zusatz von starker Fluß- mt.

291. Flurfenster, matt geätzt auf schwach mattiertem Grunde. (Mehrmals geätzt, daher verschiedene Tönung.)

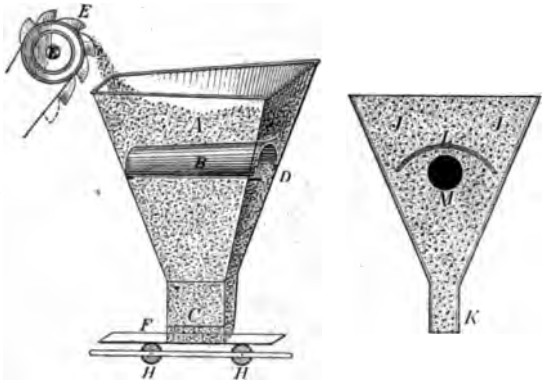
Hohl- und Tafelgläser, Wein- und le-Flaschen wird in neuerer Zeit, das idt-Berlin patentierte Verfahren zum tzen angewandt. Die zu ätzende Zeichnung u. s. w. wird mittels Kautschukstempel, n u. s. w. dem betreffenden Objekt unter Anwendung einer besonderen Druck- eibmasse aufgedrückt und das Ätzpulver aufgetragen, das an den bedruckten ftet und in wenigen Minuten eine scharfe Ätzung hervorruft.

Verzierungen durch den Sandſtrahl.

Die Ätzung des Tafelglaſes iſt heute im Rückſchritt begriffen, da durch die Erfindung des Sandſtrahlgebläſes dem Induſtriellen ein billigeres Mittel zur Verzierung von Tafel- und Hohlglas, beſonders aber für erſteren Zweck an die Hand gegeben iſt. Die Geſchichte der Sandbläſerei iſt ganz neuen Datums.



292. Sandblasmaſchine.



293. Trichter.

Vorderanſicht des Sandkaſtens. A Sandkaſten. B Rundes Blech, welches den Kaſten ſeiner Länge nach teilt und den Luftſtrom zwingt, nach unten zu wirken, wobei dieſer den von oben durch den Elevator E zugeführten Sand nach unten durch den Schlitz C auf die Glastafel F, die ſich auf den Rollen H fortbewegt, ſchleudert und die Glastafel mattiert.

Seitenanſicht des Sandkaſtens. J Der Sand. K Schlitz. L Das den Kaſten teilende nach oben gerundete Blech. M Öffnung für die Luftröhre des Ventilators.

Die Bewohner der ſtürmiſchen Meeresufer, auch die des Nord- und Oſtſeeſtrandes, hatten ſchon lange beobachten können, daß der Sturm, welcher den Sand der Dünen aufſchleudert, die Fenſter ihrer Behauſung mattiert. Der praktiſche Amerikaner Tilghman jedoch war der erſte, der dieſer Beobachtung die richtige Würdigung zu geben verſtand und der dieſe Thatſache für die Induſtrie auszunützen beſtrebt war. Es entſtand alſo durch ihn im Jahre 1871 die erſte Sandblasmaſchine. Die Sandblasmaſchinen, wie ſie heute vorzugsweiſe zum Mattieren von Tafelglas benutzt werden, beſtehen aus einem hölzernen Kaſten mit gegenüberliegenden Fenſtern und zwei niederen Öffnungen, durch welche die Glastafel ein- und austritt; dieſe ſind mit ſchweren Kautſchukſtücken verhängt. Alle Öffnungen ſind mit gepolſterten Rahmen bedeckt. Der Kaſten muß gut gefügt und innen mit ſtarkem Zeug überklebt ſein, damit kein Sand hindurchgeht. Ein baggerähnlicher Elevator bringt den Sand in einen länglichen, viereckigen Trichter, der unten in einen längeren Spalt ausmündet. Der Trichter hat in der Mitte ein gebogenes halbrundes Eiſenblech, wo der Luftſtrom einmündet und dadurch gezwungen iſt, nach unten zu wirken. Der Luftſtrom wird erzeugt durch einen Ventilator, der etwa 1500 Umdrehungen in der Minute macht. An den Seiten des halbrunden Bleches fällt der Sand durch zwei Schlitze durch, wird dann vom Luftſtrom erfaßt und nach unten geſchleudert, wo er eine Breite gleich der des Trichterſchlitzes mattiert. Nach dem unteren Ende des Elevators neigen ſich innen im Kaſten vier Bretter, die ſämtlichen Sand in einen Kaſten führen, wo er durch den Elevator wieder aufgenommen wird. Zum Bewegen des Elevators, Treiben des Ventilators und Führen der Tafel über die in einem der Kaſten ſich befindenden mit Kautſchuk überzogenen Rollen genügt in der Regel eine Zweipferdekraft-Maſchine. Dieſe

Maschine kann ein Gasmotor, eine Dampfmaschine sein, oder aber man betreibt die Sandblasmaschine mittels Elektrizität, wo solche billig zu haben ist.

Werden statt der Rollen, welche die Glastafel fortbewegen, Zapfen und Wellen bewegt oder gedreht, die Hohlgläser tragen, so mattieren sich diese ebenfalls. In neuerer Zeit ist eine vervollkommnete Maschine für Hohlgläser patentiert worden. Hier wird in umgekehrter Weise verfahren, indem man vermittelst eines Saugapparates einen teilweisen luftleeren Raum darstellt und diesen durch Kommunikationsröhren mit der Mattierungskammer in Verbindung setzt. Die Operationskammer kommuniziert wieder mit der Atmosphäre durch ein Rohr, und die Luft, welche das Bestreben hat, den luftleeren Raum wieder auszufüllen, reißt den auf ihrem Wege ihr zugeführten Sand mit sich, um ihn mit bedeutender Heftigkeit gegen einen ihr entgegenstehenden Glaskörper zu schleudern. Die Vorteile dieses Verfahrens sind ganz wesentlich.

294. Mittels Sandgebläses gemustertes Flurfenster.

Durch das Gebläse wurde mit dem Sand auch eine Masse gefährlichen Glasstaubes fortgeschleudert, der sich nach allen Richtungen zu verbreiten sucht; es wurde demnach nicht nur das zu mattierende Glas angegriffen, sondern auch der Apparat selbst, der bald reparaturbedürftig wurde. Außerdem war es auch durch Anlage von Abzugsröhren nicht möglich, den Arbeitsraum vollständig staubfrei zu erhalten. Die neuen Apparate schließen dagegen jede Gefahr vollkommen aus. Man gibt bei diesen der Bewegung der Luft im Operationsraum eine ganz bestimmte Richtung; denn die eintretende Luft begibt sich auf dem kürzesten Wege nach dem relativ luftleeren Kessel; der mit fortgerissene Sand und Staub hat daher kein Bestreben, diese Bahn zu verlassen. Er tritt nunmehr nicht mehr durch die Fugen und Ritzen aus. Aus der eigentlichen Operationskammer wird er dann in die sehr weiten Kommunikationskanäle geführt, in welchen die Luft ihre Bewegung verlangsamt, so daß der Sand zu Boden fällt. Nur der ganz feine Sand folgt noch dem Luftzuge, um sich im Windkessel niederzuschlagen.

Bevor das Glas aber mittels Sandstrahl mattiert werden kann, sind gewisse **Vorarbeiten** nötig. Dahin gehören 1. das Herstellen einer Schablone, 2. das Belegen des Glases mit Papier, 3. das Aufschablonieren auf dem mit Papier beklebten Glasgegenstande, 4. das Ausschneiden der Bemusterung. Zu den Schablonen nimmt man ein gutes

glattes Kartonpapier, etwa 1 mm stark, das mit gutem Leinöl, dem etwa $^1/_{10}$ des Gewichtes Terpentinöl beigemischt ist, getränkt wird.

Man hängt dann das durchgezogene Papier zum Trocknen auf und dreht dasselbe öfters um, damit das Fett nicht nach einer Seite zieht.

Die Zeichnung wird auf das getrocknete Schablonenpapier aufgepaust oder gezeichnet. Mittelstücke und Eckstücke sind getrennt, jedes für sich aufzuschablonieren. Das Ausschneiden geschieht mit schmalen, dünnen, scharfen Klingen, den Schablonenmessern, die nicht zu hart sein dürfen, da sie sonst das Glas ritzen, das beim Ausschneiden als Unterlage dient. Das Papier, welches zum Belegen des Glases benutzt wird, ist gutes, geleimtes Rollenpapier. Man schneidet sich dasselbe in der Größe, in welcher man es braucht, zu und überzieht es mit einer Kleisterschicht; alsdann wird das Papier, ohne Falten und Blasen zu bilden, auf das Glas aufgezogen, mittels Bürste glatt gestrichen und getrocknet. Auf die mit Papier überzogene Glastafel wird das Muster neu aufgezeichnet, aufgepaust oder schabloniert. Das letztere ist das gebräuchlichste. Man legt die Schablone oder Teile derselben auf die beklebte Tafel und beschwert die Schablone mit Bleigewichten. Zum Aufbürsten und Aufschablonieren bedient man sich des fein gemahlenen Graphits oder Kohlenpulvers und einer weichen Bürste. Man gibt einen kleinen Teil des Pulvers auf die Mitte der Platte, drückt diese fest und bürstet sie sorgfältig aus. Von der Mitte geht man beständig weiter nach dem Rande, bis schließlich auch die Ecken fertiggestellt sind. Die gewöhnlich als Verzierung dienenden äußeren Streifen schneidet man mit dem Lineal. Das Ausschneiden geschieht ebenfalls von der Mitte an mit kleinen Schablonenmesserchen. Hat man sich überzeugt, daß alle Konturen geschnitten sind, so wird der Papierüberzug gleichmäßig mit einem feuchten Schwamm angenetzt, bis sich das Papier, mit Ausnahme der Stellen, die das Muster bildet, abheben läßt. Nach vollständigem Trocknen ist der anhaftende Kleister von dem Glase zu entfernen, und die Tafel kann nun mattiert werden.

295. Schablone.

In der Regel genügt es, wenn die Tafel nur einmal über die Rollen der Sandblasmaschine gleitet, doch schadet selbst ein zwei- und dreimaliges Durchgehenlassen dem aufgeklebten Papiermuster nicht. Nach dem Schleifen wird das Papier mit Wasser au[illegible] geweicht, entfernt und die Tafel mit trockener Kleie oder sandfreien Sägespänen a[illegible] gerieben. Dieselbe ist nun zum Einsetzen fertig. Sollen gleichmäßig bemusterte Scheib[illegible] hergestellt werden, wie z. B. Musselingläser mit Sternenmuster, so bedient man sich a[illegible] Schablone einer dünnen Zinkplatte, in welche die Muster eingestanzt sind. Zum Au[illegible]schablonieren gebraucht man Kitte, die dem Sandstrahl einen genügenden Widerstand leiste[illegible] Hohlgläser werden in ähnlicher Weise mittels Sandstrahls verziert. Das Aufschablonier[illegible]

der Muster geschieht in der Regel durch das Kittverfahren. Als Schablonen können in der Regel nur solche aus starker Bleifolie gebraucht werden.

Zum Mattieren kann man sich desselben Apparates bedienen wie beim Tafelglas, wenn statt der Rollen, welche die Glastafel fortbewegen, Zapfen oder Wellen gedreht werden, die die betreffenden Hohlgläser tragen.

Das Guillochieren der Gläser.

Guillochieren wird, angeblich nach dem Erfinder Guillot, ein Verfahren genannt, das die Herstellung gewisser den Gravierungen verwandter Verzierungen, der sogenannten Guillochen mit Hilfe mechanisch geführter Grabstichel bezweckt. Hierzu bedient man sich der Guillochiermaschine, die am häufigsten zum Verzieren von Hohlgläsern benutzt wird. Die Handhabung ist einfach und kann von zwei Mädchen besorgt werden. Bevor die Maschine in Betrieb gesetzt wird, werden die Gläser an ihrer Oberfläche mit einem weichen, der Flußsäure widerstehenden Deckgrund versehen. Ist dieser trocken, so wird die Maschine für das betreffende Muster hergerichtet und der Façon der Gläser angepaßt, worauf jedes einzelne Glas in der Maschine befestigt und dieselbe durch Drehen an der Kurbel in Bewegung gesetzt wird. Dabei ritzen die Nadeln in den weichen Deckgrund feine Linien, die das Muster bilden. Als Deckfarbe benutzt man: 100 g gepulverten Asphalt gelöst in 100 g Terpentinöl, worauf zur heißen Lösung noch 500 g Paraffin hinzukommen. In diese heiße Masse werden die vorgewärmten Gläser eingetaucht und dann in die Maschine eingespannt. Ist der Deckgrund an den guillochierten Gläsern überall genügend trocken, so werden die Gläser geätzt. Das Ätzen geschieht in sogenannten Ätzkasten aus Blei, die mit verdünnter Flußsäure gefüllt werden. Das Ätzen dauert 30—40 Minuten. Alsdann werden die Gläser aus dem Flußsäurebad entfernt und der Deckgrund mit Terpentinöl gelöst, die Gläser gereinigt und abgerieben. Diese Gläser erscheinen hell tiefgeätzt und haben einen eigentümlichen Brillantglanz, welcher um so schöner wird, je sorgfältiger das Glas geputzt wird.

Glasmalerei.

Die schöne Färbung, welche das Glas anzunehmen vermag, verbunden mit seiner Durchsichtigkeit, läßt so wundervolle Wirkungen hervorbringen, daß die Kunst sich schon früh dessen für besondere Zwecke bediente, um so mehr als die solcherart hervorgebrachten Erzeugnisse durch ihre Dauerhaftigkeit sich auszeichneten. Während man sich ursprünglich begnügte, aus reiner Freude an der Farbenpracht des bunten durchscheinenden Glases, einzelne Glasstückchen zusammenzusetzen, um damit die Lichtöffnungen in den Kirchen, welche zu der damaligen Zeit lediglich mit Teppichen verhängt zu werden pflegten, zu schließen, ging man später daran, das Muster solcher Teppiche bei der Zusammensetzung der Glasstückchen nachzuahmen oder aber auch, nach Art der Mosaik, symmetrisch aneinander zu reihen und durch eine Bordüre einzufassen. Endlich benutzte man jene Glasmosaik dazu, um aus den gefärbten Gläsern Stücke auszuschneiden, welche sowohl in Hinsicht auf das Kolorit als auf die Komposition den Gemälden entsprachen, welche hierzu als Vorbilder gedient hatten. Dann erst gab man diesen Bildwerken Umrisse und mehr oder weniger Schattierung mit einer verglasbaren Metallfarbe, welche in die Farbe eingeschmolzen wurde, um dem Zahn der Zeit und dem Wetter Widerstand leisten zu können. Aus jener Periode datieren denn auch die ersten Anfänge der eigentlichen Glasmalerei. Die erste Blütezeit der Glasmalerei hebt in jener Zeit an, da die Architektur begann, der Malerei die vom romanischen Stil bisher eingeräumten Wandflächen zu gunsten der Plastik immer mehr zu entziehen. Was hierdurch der Wandmalerei an künstlerischen Kräften und Mitteln entging, wurde überwiegend der Glasmalerei zugewendet. Hatte man schon begonnen, die einfachen romanischen Fenster mit Glasgemälden zu schmücken, so mußte der Trieb um so stärker erwachen, als in den weiten und hohen gotischen Fenstern sich Raum und Gelegenheit zu umfassenden bildnerischen Darstellungen bot, und die Glasmalerei entfaltete sich zu einem hervorragenden Kunstzweige und gelangte zu so hoher Blüte und Vollkommenheit, daß es den im 19. Jahrhundert angestellten Versuchen lange nicht gelingen

wollte, die von ſo brillanten Erfolgen begleitete Technik der Glasmalerei jener Zeit auch nur annähernd zu erreichen.

Wenn wir die eigentliche Glasmalerei als Kunſtzweig ins Auge faſſen, ſo finden wir die Wiege derſelben in den Bergen unſeres Vaterlandes, und zwar war es die Benediktiner-Abtei Tegernſee, wo dieſe edle Kunſt nicht nur liebevolle Pflege, ſondern auch in Bezug auf ihre techniſche und künſtleriſche Vervollkommnung die erſprießlichſte Förderung fand. Das Kloſter Tegernſee genoß ſchon im 10. Jahrhundert den ehrenvollen Ruhm, eine Pflegeſtätte der Kunſt und Wiſſenſchaft zu ſein, namentlich war es der hochgebildete Abt Gozbert (982—1001), welcher ſich um die Mehrung und Erhöhung dieſes Ruhmes beſonders verdient machte. Er iſt der Stifter der ſeiner Zeit berühmt gewordenen Bibliothek, und unter ſeiner Regierung vernehmen wir auch die erſte Kunde von der Erfindung des Erzguſſes, welcher, laut einer Abhandlung des gelehrten Mönches Fromund, um jene Zeit in Tegernſee betrieben wurde. Abt Gozbert war es auch, welcher daſelbſt eine Glockengießerei errichtete. Groß mag die Freude dieſes ebenſo feinſinnigen und gemütreichen als hochgelehrten Abtes geweſen ſein, als zum erſtenmal die Sonnenſtrahlen durch die vom Grafen Arnold von Vohburg für ſeine Kirche geſtifteten Glasfenſter fluteten. „Temporibus vestris felicibus auricomus sol primum infulsit basilicae nostrae pavimenta per discoloria picturarum vitra“ ſchrieb er damals an den hochherzigen Spender, und wir können ſeine Freude begreifen, hat doch dieſer märchenhaft liebliche Farbenglanz, den das Sonnenlicht in die hochgewölbten Säulenhallen unſerer Dome zaubert, ſchon ſo oft unſer eigenes Gemüt mit andächtigem Wonneſchauer erfüllt.

Auch unter Abt Eberhard II. (geſt. 1091) hatten ſich Kunſt und Wiſſenſchaft im Stifte Tegernſee hoher Gunſt zu erfreuen. Unter ihm lebte der uns durch unſeren unvergeßlichen Karl Stieler in ſeinen Hochlandsliedern liebgewordene Mönch Werinher, der namentlich in der Kunſt, Farben in Glas zu ſchmelzen, wohl erfahren war. Fünf von ihm mit Gemälden gezierte Fenſter waren einſt der Stolz der Mönche von Tegernſee. Der Ruf des Kloſters, das ſo friedlich zwiſchen den dunkelgrünen Forſten der Berge eingebettet lag, als Pflegeſtätte der Glasmalerei, verbreitete ſich bald weit in die Lande. Schüler wurden aufgenommen, um in dieſer Kunſt unterwieſen zu werden, und eine Aufzeichnung iſt noch heute erhalten, welche meldet, daß alsbald gemalte Fenſter in ſolchen Mengen beſtellt wurden, daß das Kloſter die Ausführungen nicht bewältigen konnte. Infolgedeſſen entſtand auch ſchon jenſeit des Sees (in der Au) eine eigene Glashütte. Die prächtigen Fenſter, welche wir noch heute im Dome zu Augsburg bewundern, ſtammen aus dem 11. Jahrhundert, und ſicherlich darf der Urſprung derſelben nicht anders, als auf Tegernſee zurückgeführt werden. Im 12. und 13. Jahrhundert hat die Glasmalerkunſt bereits ausgedehnte Anwendung gefunden. Die Denkmäler dieſer Frühzeit verraten noch ihren Urſprung aus den Fenſter-Moſaiken. Kleine Scheiben von unregelmäßigem Zuſchnitt ſind durch Bleiſproſſen miteinander verbunden. Jede dieſer Scheiben zeigt nur eine Farbe, mit der das Glas in der Maſſe gefärbt oder — bei dem Rot — nur überfangen iſt; die Malerei auf ihnen iſt, da man die Anwendung farbiger Schmelze für dieſen Zweck nicht kannte, ausſchließlich mit „Schwarzlot“ ausgeführt, das aus einem mit gebranntem Kupfer (in ſpäterer Zeit Eiſenhammerſchlag) verſetzten, leichtflüſſigen Bleiglas beſtand.

Wie im 12. Jahrhundert die Glasmaler verfuhren, hat uns Theophilus in ſeiner „Diversarum artium schedula“ beſchrieben. Über der in kräftigen Umriſſen auf einer Holztafel entworfenen Zeichnung paßte der Künſtler die den Lokalfarben entſprechend ausgewählten Scheiben den einzelnen Farbflächen an, pauſte die Umriſſe durch und ſchnitt denſelben gemäß die Scheiben mit einem heißen Eiſen*) zu. Auf jeder einzelnen der zugeſchnittenen Scheiben wurde ſodann mit dem Schwarzlot der genauere Umriß der Zeichnung, den der Ausſchnitt der Scheibe nur ganz aus dem Groben hatte andeuten können, nachgezogen und die innere Zeichnung, die Züge eines Geſichtes, die Finger einer Hand, die Falten eines Gewandes eingetragen. Nachdem das Schwarzlot in einem beſonderen Brennofen aufgeſchmolzen worden, fügte man endlich die kleinen Scheiben durch bleierne

*) Der Diamant kam als Glasſchneider erſt im 16. Jahrhundert in Gebrauch.

Sproſſen zu großen Verglaſungstafeln aneinander. Beſondere Vorkehrungen dienten dazu, letztere gegen das Ausbauchen infolge ihres eigenen Gewichtes oder durch den Winddruck von außen zu ſchützen. Beim Malen mit dem Schwarzlot konnte man in Strichen zeichnen, einen Grund ſchraffieren, aber auch aus einem mit der Farbe dunkel oder in Halbtönen gedeckten Grund Lichter herauswiſchen, Muſter oder Buchſtaben herauskratzen. Strebte man auch dahin, die Verbleiung den Umriſſen der Zeichnung anzupaſſen, ſo mußte man doch bei größeren Flächen eines Farbtones, für welche die verfügbaren Scheiben nicht reichten, „Notbleie“ anwenden, welche die Fläche einer Farbe teilten. So weit es möglich, folgte man hierbei den Linien der inneren Zeichnung. Die derben Umrißbleie mit der dunklen Ausfüllung zwiſchen den Bleizügen und den richtigen, gemalten Umrißlinien hatten nicht nur einen techniſchen Zweck, ſondern ſtanden mit der kunſtvollen Wirkung derartiger Fenſter in engſtem Zuſammenhang, denn ſie verhindern das Miſchen und Verfließen der Farben an den Stoßfugen zweier Scheiben. Ohne ſie würde die Darſtellung durch eine das Auge peinigende Flimmerwirkung und durch vom Künſtler nicht beabſichtigte Miſchfarben geſtört werden. Anderſeits treten die Bleizüge infolge des Übergreifens der bei durchfallendem Licht überaus kräftig ſtrahlenden, helleren Farben für das Auge ſo weit zurück, daß ſie die Darſtellung nirgend beeinträchtigen.

296. Griſaille. (12. Jahrhundert.)

Die einfachen Hilfsmittel der Glasmaler in dieſer frühen Zeit führten von ſelber zu dem ihren Werken eigenen Stil der Flachmalerei. Die Darſtellungen ſind kolorierte Umrißzeichnungen ohne Schlagſchatten und ohne Luftperſpektive. Wo figürliche Darſtellungen vorkommen, pflegen ſie in kleinerem Maßſtab Felder zu füllen, in welche die ganze Fenſterfläche durch Ornamente in regelmäßiger Wiederkehr abgeteilt iſt, oder ſie erſcheinen als Standfiguren größeren Maßſtabes, je eine in jeder durch Steinpfoſten eingerahmten Abteilung des Fenſters unter einem Baldachin, welcher aus der Steinarchitektur in das Flächenhafte übertragen iſt. Sehr viele Fenſter entbehren ganz des figürlichen Schmuckes und zeigen nur geometriſche oder pflanzliche Ornamente. Eine beſondere Art der Ornamentfenſter ſind die „Griſaillen“, welche dieſe Bezeichnung daher führen, daß ſie ganz oder überwiegend aus farbloſen, durch Schwarzlotmalereien gedämpften Scheiben beſtehen und nur die das Feld gliedernden Streifen und etwa einige Roſetten aus farbigen Glasſtücken eingeſetzt ſind (ſ. Abb. 296).

Um die Mitte des 14. Jahrhunderts erſcheinen folgenreiche techniſche Neuerungen. Zu dem Schwarzlot tritt das „Kunſtgelb“, ein durch Chlorſilber oder Schwefelſilber gefärbtes leichtflüſſiges Glas, das ſich wie jenes durch Einbrennen auf den Glasſcheiben befeſtigen läßt. Zugleich lernt man, dem Überfangglas durch ſtellenweißes Ausſchleifen (anfänglich mit einem Feuerſtein) die farbige Haut zu nehmen und ſo in rotem Felde eine weiße Zeichnung hervorzubringen. (Die rote Farbe auf einen Überfang zu beſchränken

297. Gemaltes Glasfenſter aus dem 14. Jahrhundert. Viktring bei Klagenfurt.

war man genötigt, weil das durch Kupfer gewonnene Rot in verdünntem Zuſtande die Glasmaſſe nicht gleichmäßig genug färben und bei ſtärkerem Zuſatz zu wenig Licht durchlaſſen würde, ein Übelſtand, der vermieden wird, wenn man eine farbloſe Glasſcheibe mit einer dünnen Schicht dunkelrot gefärbten Glaſes überfängt.) Mit dieſem neuen Hilfsmittel konnte man in einem weißen Felde unmittelbar durch Aufmalen gelbe Verzierungen oder grüne in einem blauen Felde darſtellen. Man ſparte ſo die Verbleiung zwiſchen dieſen Farben und konnte auch feinere Zeichnungen wiedergeben, als nach dem alten Verfahren möglich war. Ebenſo konnte man auch auf das in dem roten Felde ausgeſchliffene weiße Feld malen. Was bei dem Rot eine Notwendigkeit war, das Überfangen, wurde ſpäter auch auf andersgefärbte Gläſer angewendet, damit man dieſe ebenſo mit Schwarzlot und Kunſtgelb auf ausgeſchliffenen Stellen bemalen konnte.

Die Erfindung der Bleiruten im 13. Jahrhundert ermöglichte es, die vielfarbigen Glasſtücke geſchmackvoller zuſammenzuſtellen, und der hochentwickelte Schönheits- und Formenſinn ließ Werke entſtehen, welche in Bezug auf künſtleriſche Anordnung, ſowie Pracht und Harmonie der Farben heute noch als vielbewunderte Muſter gelten. Man begnügte ſich bald nicht mehr damit, figürliche Einzeldarſtellungen zum Gegenſtande eines Glasgemäldes zu machen, vielmehr unternahm man es, vollſtändige Szenen bibliſchen oder legendariſchen Inhalts über weite Flächen zu verteilen, hielt es aber dabei für angemeſſen, eine Einfaſſung beizubehalten, welche ſich den baulichen Formen der Gotik anſchmiegte und dieſe zugleich zur wirkungsvollen Geltung brachte.

Zu Ende des 15. und Anfang des 16. Jahrhunderts hatte die Glasmalkunſt, was vollendete Technik und Zeichnung anbelangt, den Höhepunkt erreicht, und manche koſtbare Perle aus dieſer Epoche, in der Liebfrauenkirche zu München inſonderheit die Werke Egid Trautenwelfs, erfreuen uns noch heute durch ihre lichtſprühende Farbenpracht. Hatte bisher die Glasmalerei lediglich die Aufgabe, Gotteshäuſer zu ſchmücken, ſo wußte die lebensfreudige Renaiſſance ſich dieſe Kunſt auch zur Ausſchmückung von Rat- und Patrizierhäuſern, Schützenſälen, Trink- und Gildeſtuben, von Reſidenzen und Schlöſſern dienſtbar zu machen. Selbſtverſtändlich wurden zu Profanzwecken neue Gegenſtände in das Bereich der Darſtellung gezogen und das Prunkhafte trat hier mehr an die Stelle der früheren ernſten Einfachheit. Der reiche Formenſchatz, welchen die Renaiſſance mit ſich brachte, ließ ſich nicht mehr in die eng begrenzten Formen

zwängen, welche die Gotik vorgeschrieben hatte; gleichzeitig machte sich aber auch mit der Verallgemeinerung der Glasmalerei ein Niedergang derselben bemerklich.

Gegen Ende des Mittelalters führen technische Erfindungen auch zu einer neuen Behandlungsweise der Darstellungen. Dem Schwarzlot, das jetzt in verschiedenen bräunlichen und gelblichen Tönen vorkommt, und dem Silbergelb gesellt sich als dritte Malfarbe das Eisenrot, und im weiteren Verlaufe des 16. Jahrhunderts lernte man noch Grün, Violett, Blau und andere Farben als Schmelze zum Einbrennen auf Glastafeln herstellen. Damit konnte man auf farblose Glastafeln so viele Farben nebeneinander malen und einbrennen, wie den Farben des Vorbildes entsprachen, und die Bleizüge beschränken. Freilich erreichten die aufgebrannten Schmelze nicht die leuchtende Farbenglut der alten, in der Masse gefärbten oder überfangenen Gläser. Dafür aber konnte man nunmehr Halbtöne und Abstufungen anbringen, welche dem Glasmaler den Wetteifer mit dem Tafelmaler gestatteten. Hiermit aber war der Keim des Todes in die Kunst gelegt — was anfänglich eine Bereicherung schien, wurde mit der weiteren Entwickelung die Ursache ihres Niederganges. Solange man die alten Überlieferungen noch unbe-

298. Profanfenster „Italienisches Gastmahl".
Ausgeführt v. d. Kgl. Bayr. Hofglasmalerei F. X. Zettler in München für San Francisco.

wußt pflegte, wurden zunächſt noch Werke von hoher Schönheit geſchaffen. Die reinen Ornamentfenſter treten zurück. Alles drängt zur Darſtellung reichen figürlichen Lebens. Man ordnet die Kompoſitionen nicht mehr der durch das ſteinerne Pfoſtenwerk dargebotenen Felderteilung unter, ſondern füllt mit ihnen die ganzen Maueröffnungen, ohne Anſtoß daran zu nehmen, daß hierbei Figuren von den Pfoſten durchſchnitten werden.

Eine köſtliche Nachblüte entfaltete die alte Kunſt noch, als ſie monumentaler Schöpfungen nicht mehr fähig war, in den zum Schmucke der weltlichen Gebäude beſtimmten kleinen „Kabinettbildern“. Bei dieſen war keine Unterordnung unter die Architektur erforderlich; jedes Bild durfte für ſich allein ſprechen, und jene verzärtelte Technik, welche den Eindruck des Kirchenfenſters neuen Stiles ſtörte, konnte hier in unmittelbarer Nähe des Auges ihre Reize entfalten. In der Schweiz vor anderen Ländern hat die Kabinetts-Glasmalerei geblüht, begünſtigt durch die gefeſtigte Sitte, bei vielerlei Anläſſen der Gemeinde kunſtvolle Glasbilder in die Rats- und Amtshäuſer zu ſtiften, und durch den allgemeinen Brauch der Bürger, einander die Fenſter der Wohnhäuſer mit gemalten Scheiben zu ſchmücken. Den Wappen, die neben den Figuren in den Kirchenfenſtern des 16. Jahrhunderts bevorzugt waren, treten hier Schildhalter in maleriſchen Trachten, reiche Umrahmungen im Rollwerkſtil, kleine bibliſche, landſchaftliche und Sittenbilder hinzu. Bis tief ins 17. Jahrhundert arbeiten in der Schweiz noch tüchtige Künſtler in den guten Überlieferungen der Renaiſſance. Auch in Nürnberg und Augsburg und anderen Städten blühte die Glasmalerkunſt, welche bei Kirchenbauten keine Nahrung mehr fand, noch eine Weile im Dienſte ähnlicher Bräuche, wie die Schweiz ſie übte. In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts ſchwinden jedoch dieſe Gepflogenheiten in den Städten. Der gute alte Brauch des „Fenſterſchenkens“ bleibt nur noch bei den niederdeutſchen Bauern lebendig, mehr als ein Jahrhundert länger, als die Städter ihm gehuldigt hatten. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts war die Kunſt des Glasmalens in ganz Europa erloſchen, ſo ſehr, daß ſie in unſerem Jahrhundert hat neu erfunden werden müſſen.

299. Bleiriß eines bemalten Glasfenſters. 300. Farbenſkizze eines Glasfenſters.

Didden & Buſch, Glasmalerei, Berlin.

In Bayern, wo die Wiege der Glasmalerkunst stand, feierte sie auch wieder ihre Auferstehung. Den Anstoß zum wiedererwachenden Interesse für diesen beinahe ganz vergessenen Kunstzweig mag wohl die romantische Bewegung gegeben haben, für welche sich ein Teil der Künstler schwärmerisch begeisterte. Namentlich war es der Nürnberger Sigmund Frank (geb. 1769), auf den die noch vorhandenen, in alter Farbenpracht glühenden Reste von Glasmalereien einen tiefen Eindruck hervorbrachten. Schlug er auch einen falschen Weg ein, um die verloren gegangene Technik der Alten wieder zu erreichen, so waren seine Versuche nichtsdestoweniger geeignet, die Aufmerksamkeit auf sich zu lenken und ihm Aufträge zuzuführen. Unter letzteren befand sich auch ein solcher von König Maximilian I. von Bayern, und die zufriedenstellende Ausführung desselben veranlaßte diesen Monarchen, Sigmund Frank im Jahre 1818 als königlichen Glasmaler nach München zu berufen. Die Geschichte der neueren Glasmalerei beginnt jedoch erst mit dem Regierungsantritt Ludwigs I., der in seiner Residenzstadt, welche er zu einer Kunststadt ersten Ranges erhob, diesem Kunstzweige in der Königlichen Glasmalerei eine neue Heimstätte schuf. Diese Königliche Glasmalerei muß entschieden als die Mutteranstalt der gesamten neuen Glasmalerei betrachtet werden, die gegenwärtig sichtlich einer neuen Blüte zusteuert. Einer ersten Periode, wo man den alten Wettbewerb mit der Ölmalerei wieder aufnahm, ist eine zweite gefolgt, in der man, geleitet durch bessere Einsicht in das Wesen der Kunst, den Vorbildern ihrer mittelalterlichen Blütezeit nachstrebt, während man sie in technischer Hinsicht zu übertreffen sucht.

301. Konturieren und Malen auf Glas.
Didden & Busch, Glasmalerei, Berlin.

Im Mittelalter war der Glasmaler daneben noch sein eigener Glasmacher, Farbenbereiter und Glaser. Das hat sich ja nun geändert. Farben und Glas liefern jetzt große Fabriken, und für das Zusammensetzen der Fenster gibt es eine Anzahl besonders hierfür geschulter Glaser. Immerhin aber bleibt dem Glasmaler noch genug zu thun übrig, und ein Besuch in seinem Atelier ist ebenso interessant wie lehrreich.

Soll ein Glasgemälde, zum Beispiel ein Kirchenfenster, hergestellt werden, so entwirft der Künstler zunächst eine kleine Farbenskizze. Nach diesem Entwurf zeichnet er dann auf Papier oder Leinwand den Karton in der Größe, die das Kirchenfenster in Wirklichkeit haben soll. Auf dem Karton werden durch die Konturen des Bildes naturgemäß einzelne Felder von mancherlei verschiedener Gestalt gebildet, und diese Felder werden nun, je nachdem sie im Gemälde eine oder mehrere Farben tragen sollen, in entsprechend mehr oder weniger Unterfelder eingeteilt. Der Glasmaler hat Glasscheiben

in allen möglichen Farbennuancen vorrätig. Für jede Farbe gilt eine bestimmte Zahl als Unterscheidungszeichen, wenn also grün beispielsweise die Nr. 17 hat, notiert der Maler in alle die Felder, die nach der Farbenskizze grün sein sollen, die Zahl 17. Ebenso macht er es mit den anderen Farben, und wo figürliche Darstellungen, Köpfe, Wappen und dergleichen hinkommen sollen, bezeichnet er das wieder mit besonderen Merkzeichen im Karton. Das Entwerfen der Skizze stellt hohe Anforderungen an das Können und das Talent des Malers, das Kartonzeichnen nicht geringere an seinen Fleiß und seine Sorgfalt. Denn nicht nur auf die Architektonik des Baues, sondern auch auf das Stein- und Eisenwerk des Fensters und auf die Bleilinien, die sich beim Zusammensetzen der Felder ergeben, muß er peinliche Rücksicht nehmen. Deshalb zeichnet er bei wertvollen Kartons, oder wenn er überhaupt ein sorgsamer Arbeiter ist, noch einen zweiten Karton, den Bleiriß, der nur die schwarzen Umrisse des Bleinetzes angibt. Ist er mit diesen schwierigen Arbeiten fertig, so übergibt er zunächst den Karton dem Kunstglaser.

302. Glasschneiden, Zusammensetzen und Verbleien.
Didden & Busch, Glasmalerei, Berlin.

Der Kunstglaser kopiert den Karton genau, er macht davon eine „Pause“ auf Schablonenpapier. Diese Kopie wird dann, entsprechend den Umrissen, die die einzelnen Felder bilden, in ebensoviel Stücke zugeschnitten, die als Muster für die auszuschneidenden Gläser der verschiedenen Farben dienen. Da die Glasfelder beim späteren Zusammensetzen durch Blei miteinander verbunden werden, so müssen sie und dementsprechend auch die Schablonen am Rande so viel kleiner sein, als die Hälfte der Stärke des Bleikerns der Einfassung ausmacht. Sind nun die Glasscheiben zugeschnitten und bemalt, so werden sie gebrannt, denn erst durch das Brennen erhalten die Glasfarben ihre besondere Kraft und Schönheit und ihre Unvergänglichkeit. Die Glasplatten werden in einem besonders konstruierten Ofen bis zum Glühen gebracht und müssen dann langsam abkühlen. In fünf bis sechs Stunden etwa ist das Einbrennen — ohne die Abkühlung natürlich — geschehen. Sind die Platten fertig abgekühlt, so werden sie zusammengesetzt, „verbleit“. Das Blei bezieht der Glasmaler in langen Stäben, die er sich in einer Doppelwalze, dem Bleizug, in die Form preßt, die sich am besten der Dicke des Glases anpaßt; gewöhnlich erhält das Blei die Form des Doppel-T-Eisens (H), so daß die Glasscheibe am Rand zu beiden Seiten vom Blei umfaßt werden kann. Der Verbleier fügt dann Platte an Platte, verbindet sie mit der „Bleirute“, streicht die Bleiflügel fest an das Glas und verlötet die Verbindungsstellen. Hinterher werden die zusammengesetzten

Platten noch mit einem feinen Kitt versehen, damit sie ganz dicht werden. Die Verbleiung erfordert viel Sorgfalt und Übung, besonders bei figürlichen Darstellungen, sie ist auch ein wesentlicher Faktor für die Haltbarkeit der Fenster. Sind endlich die einzelnen Glasstückchen in der richtigen Anordnung aneinander gefügt, so ist das Bild fertig.

Die aufgemalten und eingebrannten Farben der alten Glasgemälde werden mit der Zeit von den Witterungseinflüssen zerstört. Mit der Vervollkommnung der Chemie ist darin eine Wandlung eingetreten. Die heutigen Schmelzfarben widerstehen größtenteils nicht nur den atmosphärischen Einflüssen, sondern sie trotzen auch stärkeren Angriffen. Die eigentlichen Farben, die Pigmente, können nicht auf das Glas direkt aufgetragen werden, sondern sie müssen zuvor je nach dem Tone, der erreicht werden soll, in mehr oder minder großer Menge mit leichtflüssigen Gläsern, dem sogenannten Fluß gemischt werden. Zur Bereitung des Flusses schmilzt man Mennige mit reinem Quarz oder mit einem Zusatz von calciniertem Borax ein. Das Einschmelzen geschieht in der Regel in durchlochten hessischen Tiegeln, bei welchen die geschmolzenen Anteile durch das Loch in ein Gefäß mit kaltem Wasser tropfen, wo die Schmelze abgeschreckt wird und sich nun leichter pulvern läßt. Zum Gebrauch wird der Fluß mit dem Pigment, d. h. der betreffenden Farbe, zusammen auf der Glasplatte verrieben. Gewisse Metalloxyde werden auch gleichzeitig mit dem Fluß eingefrittet, abgeschreckt und vermahlen. Diese nennt man verstärkte Schmelzfarben, und sie sind wirkliche Lösungen von Metalloxyden im Fluß. Andere färbenden Oxyde, wie die braunen und roten Färbungen durch Eisenoxyd, vertragen jedoch ein Zusammenschmelzen nicht, sondern bei diesen ist das Pigment nur mechanisch eingehüllt; sie sind also im Feuer leichter zu zerstören und verlangen große Sorgfalt. Die Hauptbedingungen, die die in der Glasmalerei benutzten Schmelzfarben erfüllen müssen, ist die, bei niederer Temperatur in Fluß zu kommen, ohne daß das Glas erweicht. Ferner müssen sie alle bei derselben Temperatur und der gleichen Zeitdauer, wie gewünscht, einbrennen.

Die Flußmittel für die Glasmalerei sind meist sehr basisch und sehr leichtflüssig. Man erhält gute Flußmittel durch Zusammenschmelzen von: 1 Teil Quarzpulver, 2¼ Teil Mennige bezw. 10 Teilen Krystallscherben, 7 Teilen Mennige, $2^1/_{10}$ Teilen Borax oder 100 Teilen Krystallglasbrocken, 66,7 Teilen Mennige, 41,7 Teilen Borax. Ein sehr widerstandsfähiges Gemenge besteht aus 1 Teil Sand, 3 Teilen Borsäure, 6 Teilen Mennige. Nach Salvétat ist dieser Fluß für alle Oxyde anwendbar mit Ausnahme des Goldpurpurs, für welchen er zu schmelzen empfiehlt: 100 Teile Sand, 75 Teile Mennige, 150 Teile Borax. Die Flüsse werden eingefrittet, abgeschreckt, gemahlen und mit dem Metalloxyd vermischt; alsdann mit etwas Terpentinöl angerieben und mit dem Pinsel aufgetragen.

Weiße Schmelzfarben erhält man durch Zusammenschmelzen von Flußmitteln mit Zinnoxyd, arseniger Säure, oder weiß gebrannten Knochen mit Mennige. Man erhält stets ein schönes Weiß, wenn man das Zinnoxyd in Gestalt von Ascher einschmilzt und nicht nur darunter mischt. 1) 2 Teile kohlensaures Kali, 5 Teile Ascher aus 1 Zinn 4 Blei, 3 Teile Quarzpulver, 1 Teil calc. Borax. 2) 3 Teile Quarzpulver, 1½ Teile Zinnoxyd, 6 Teile Mennige, 2 Teile calc. Borax. Die Bestandteile werden bei hoher Temperatur geschmolzen, in Wasser abgeschreckt, gemahlen und schließlich auf der Glasplatte mit dem Läufer abgerieben. — Außerdem kann man die weiße Schmelzfarbe des Handels nach dem Umschmelzen mit Mennige benutzen; oder man mischt 2 Teile Beinglas mit 1 Teil Mennige zusammen, frittet ein und behandelt die Fritte wie gewöhnlich. Auch kann man 1 Teil weiß gebrannte Knochen mit 2 Teilen bleiischem Flußmittel oder 1 Teil Zinkoxyd mit 2 Teilen Flußmittel zusammenreiben.

Für Schwarz gibt es eine große Menge von Vorschriften. Wir geben im nachstehenden zwei wieder. 1) 2 Teile Eisenoxyd, 1 Teil Kobaltoxyd, 7½ Teile Flußmittel. 2) 1 Teil Eisenhammerschlag, 3 Teile Kupferoxyd, 4 Teile Antimonoxyd. Diese werden eingeschmolzen, gemahlen und mit 3 Teilen Fluß (1 Teil Sand und 3 Teilen Mennige) und 0,2 Teilen Borax auf 1 Teil der Oxyde verrieben. Zur Erzeugung von Blauschwarz muß das Kobaltoxyd in größerer Menge vorhanden sein; wird Beinschwarz gewünscht, so wird guter Braunstein hinzugesetzt. Diese Farben haben nach dem Einbrennen ein glänzendes Aussehen. Werden mattschwarze Töne verlangt, so nimmt man 1 Teil Kupferschmalte und 1 Teil Schwefelantimon oder 1 Teil Kupferschmalte, 1 Teil Braunstein oder auch 1 Teil Goldpurpur, 1 Teil Kobaltoxyd, 1 Teil Braunstein. Die Mengen werden innig verrieben, mit dickem Terpentinöl, sogenanntem Dickol, angemacht und aufgetragen.

Die roten Schmelzfarben bedürfen einer sehr sorgfältigen Behandlung beim Einbrennen und werden mit Hilfe von Eisenoxyd hergestellt. Zur Erzeugung des feineren Rotes bedient man sich des Goldpurpurs. Auch rot durch Lasur kann man das Glas bei Muffeltemperatur oberflächlich färben. Hierzu gebraucht man nach Zscheuschner Silberpräparate.

Zur Erzeugung von Rot wird 1 Teil erhitztes Eisenvitriol mit 2—3 Teilen Flußmittel (aus 6 Teilen Quarzsand, 4,5 Teilen Mennige, 2,5 Teilen Magisterium Bismuthi) nach dem Einschmelzen der letzteren verrieben. Je nach der Menge der Flußmittel und der Erhöhung des Eisenvitriols erhält man Farbtöne vom hellen Rot bis bläulich Violett.

Gewöhnliches Rot erhält man, wenn 1 Teil stark geglühtes Eisenvitriol mit 3 Teilen des gewöhnlichen Flusses (1 Teil Sand, 3 Teile Mennige) zusammengerieben werden. Zur Herstellung von Fleischrot werden gleiche Mengen Eisenvitriol und Alaun im Tiegel vorsichtig erhitzt. Man wäscht dann mit viel heißem Wasser aus, trocknet den gesammelten Rückstand und mischt ihn mit 1—2 Teilen Flußmittel, hergestellt aus 6 Teilen Quarz, 4 Teilen Mennige, 1 Teil entwässertem Borax, 1 Teil Kalisalpeter. Für Dunkelrot wird 1 Teil vorsichtig geglühter künstlicher Blutstein (Eisenoxyd) mit 3 Teilen Flußmittel (1 Teil Sand und 2 Teilen Mennige) verrieben. Zur Herstellung von Purpurrot bedient man sich des Goldpurpurs, der in vielen Nuancen erhalten wird, nämlich Scharlachrot, Karminrot, Rosenrot, Fleischfarben. Auf 1 Teil Purpur nimmt man 4 Teile Flußmittel aus 1 Teil weißem Quarz, $1^1/_4$ Teil Boraxglas, $^2/_3$ Teil Mennige oder auf 1 Teil Goldpurpur, 12 Teile Flußmittel, die bereitet werden aus 1 Teil reinstem Sand, 2 Teilen Mennige, $1^1/_4$ Teil entwässertem Borax. Rot durch Lasur erhält man, indem 4—5 Teile Thon, gepulverter Rötel oder Eisenocker mit 1 Teil Schwefelsilber aufs innigste verrieben, mit Wasser angemacht und ohne Zusatz eines Flußmittels auf das Glas in mäßig dicker Schicht aufgetragen und der Mufftemperatur ausgesetzt werden. Der nur locker aufliegende Thon kann nach dem Abkühlen des Glases wieder leicht entfernt werden. Das Glas hat sich oberflächlich rot gefärbt; je mehr Schwefelsilber genommen ist, desto tiefer ist der Farbton.

Der Thon- und Eisenockerstaub wird gesammelt und das Silber wiedergewonnen. Statt des Schwefelsilbers wendet man auch ein Präparat aus 1 Teil Silber, 2 Teilen Grauspießglanzerz und 1 Teil Schwefel, die zusammengeschmolzen, nach dem Erstarren vermahlen und mit Thon u. s. w. gemischt, mit Wasser angemacht und auf das Glas aufgetragen werden. Das so hervorgebrachte Rot hat einen satten Orangeton.

Zu blauen Schmelzfarben benutzt man Kobaltoxyd, das mit den Flüssen eingeschmolzen wird. Nur bei dem Thénards Blau, einer Verbindung von Thonerde mit Kobaltoxydul darf kein Einschmelzen vorangehen.

Statt des Kobaltoxydes kann man sich auch der Schmalte, eines blauen Glases, das 6—12% Kobaltoxyd enthält, bedienen. Es werden also z. B. 3 Teile schwarzes Kobaltoxyd mit 2—5 Teilen Flußmitteln (aus 8 Teilen weißem Sand, 5 Teilen Boraxglas, 1,5 Teilen Salpeter und 1 Teil Kreide oder Kalkspat) bei starker Hitze zusammengeschmolzen und zum Gebrauch fein abgerieben. Man benutzt auch ein Gemenge aus 1 Teil Kobaltoxyd, 6 Teilen Boraxglas, 2 Teilen Sand. Hellere, blaue Farbtöne werden erhalten durch Hinzusetzen von nur geringen Mengen Kobaltoxyd, oder durch Verdünnen der blauen Farbtöne mit Flußmitteln.

Opales Blau erzeugt man, indem 1—3 Teile Thénards Blau mit 2 Teilen feinem Flußmittel verrieben werden, das aus 1 Teil Sand, 3 Teilen Borsäure, 6 Teilen Mennige wie gewöhnlich hergestellt wird.

Die in der Glasmalerei verwendeten gelben Schmelzfarben sind opal. Die durchsichtigen gelben Farben kann man nicht zu den Schmelzfarben rechnen. Sie werden erzeugt durch Färben der Glasoberfläche. Diese Färbung durch Lasur wird im weiteren noch besprochen werden.

Zur Herstellung der opalen gelben Farben benutzt man Antimonsäureverbindungen, Uranoxyd, oder chromsaures Blei. Besonders Verwendung findet das antimonsaure Blei, das Neapelgelb. Das Einbrennen dieser Farben erfordert besondere Vorsicht. Ein ebenfalls schönes, gelbes Pigment wird aus antimonsaurem Kali und schwefelsaurem Eisenoxyd hergestellt. Beide Lösungen in Wasser werden zusammengegossen und der entstehende Niederschlag auf einem Filter gewaschen, getrocknet und geglüht. Man nimmt auf 1 Teil Farbstoff, 3 Teile basische Flußmittel und vermeidet beim Einbrennen große Hitze und lange Dauer. Die ockergelben Farben sind in der Regel mit Flußmitteln versetzte Gemische von braunen und weißen Farbtönen. Man nimmt hierzu 2 Teile reines metallisches Eisen und etwas mehr als 1 Teil metallisches Zink und löst beide in verdünnter Salz- oder Schwefelsäure auf. Dann fügt man etwas Salpetersäure hinzu und kocht wieder zur Verwandlung des Eisenoxyduls in Eisenoxyd. Die klare Lösung versetzt man nun mit Sodalösung und läßt den entstehenden Niederschlag absetzen. Derselbe wird dann mit Wasser ausgewaschen, getrocknet und im Tiegel bis zur Rotglut erhitzt, nachdem man vorher Kochsalz hinzugesetzt hat. Dieses wird dann weggewaschen und der Farbkörper getrocknet. Es werden also zur Erzeugung einer gelben Schmelzprobe 1 Teil Neapelgelb und 4—5 Teile Flußmittel (1 Teil Sand, 3 Teile Mennige) miteinander verrieben und nicht eingeschmolzen, sondern höchstens ganz schwach gefrittet, oder 1 Teil antimonsaures Eisenoxyd wird mit 3 Teilen Flußmitteln (1 Teil Sand, 3 Teile Mennige) verrieben.

Jonquillengelb erhält man, wenn man 1 Teil Antimonsäure, 1 Teil Zinnoxyd, 2 Teile Mennige mit 22 Teilen Flußmittel (1 Teil Sand, 3 Teile Mennige) vorsichtig zusammenschmilzt, mahlt und abreibt. Urangelb, wenn 1 Teil gelbes geglühtes Uranoxyd mit 3 Teilen Flußmittel (aus 1 Teil Sand, 4 Teilen Mennige) abgerieben wird, während

für Ockergelb 1 Teil Gemisch von Eisen und Zinnoxyd — wie oben beschrieben — mit 3 Teilen Flußmittel (1 Teil Sand, 3 Teile Mennige) verrieben wird.

Auch bei den grünen Schmelzfarben unterscheidet man durchsichtige und undurchsichtige. In erster Linie benutzt man zum Grünfärben das Chromoxyd, alsdann ferner auch das Kupferoxyd, das ins Bläuliche spielt, und zu ganz gewöhnlichen Färbungen das Eisenoxyd. Besonders verwandt wird das Chromoxyd und Reimanns Grün, eine Verbindung von Kobaltoxydul mit Zinkoxyd. Das Chromoxyd stellt man dar aus 2 Teilen chromsaurem Kali und 1 Teil Schwefelblumen. Man wäscht nach dem Abbrennen mit Wasser aus und glüht den Rückstand. Zur Bereitung durchsichtiger grüner Schmelzfarben benutzt man ferner das gelbe chromsaure Bleioxyd, das Chromgelb. Dieses wird mit Sand, Mennige und Borax zusammengeschmolzen. Bei Verwendung des ersteren werden 1 Teil Chromoxyd und 3 Teile Flußmittel (1 Teil Sand, 4 Teile Mennige) verrieben. Schmilzt man das Chromoxyd mit Flußmitteln ein, so erhält man ein durchsichtiges Grün, im anderen Falle ein opales Grün. Im zweiten Falle nimmt man 2 Teile Sand, $5^1/_2$ Teile Mennige, 3 Teile Borax, 2 Teile chromsaures Bleioxyd. Zur Erzeugung eines undurchsichtigen Grüns werden 1 Teil Reimanns Grün und 4 Teile Flußmittel (aus 1 Teil Sand, 1 Teil Borax, 2 Teilen Mennige) gemischt. Kupfergrün erhält man, wenn 1 Teil Kupferoxyd, 5 Teile weißes Glas und 3 Teile Mennige eingeschmolzen, abgeschreckt und gemahlen werden. Zu Kupfereisengrün werden 12 Teile Mennige, 4 Teile Sand, 1 Teil Kupferoxyd und $^1/_4$ Teil Eisenoxyd, bis zum klaren Fluß geschmolzen, abgeschreckt und gemahlen. Die Zahl der gebräuchlichen Rezepte ist Legion, doch mögen die vorstehenden als Beispiele genügen.

Zur Erzeugung der violetten Schmelzfarben benutzt man entweder Metalloxyde, die die Flüsse violett färben, oder man suspendiert violette feuerbeständige Körper im Fluß, oder man kombiniert Rot mit Blau. Die erste Kategorie der Farbe erreicht man mit Hilfe der Oxyde des Mangans. Die zweite mit Hilfe von Cassiusschem Purpur. Von Einfluß auf die Farbe ist neben den verschiedenen Oxydationsstufen des Mangans die Zusammensetzung des Glases. Natrongläser nehmen eine rotviolette, Kaligläser eine blauviolette Färbung an: Es werden also z. B. 1 Teil eisenfreier Braunstein mit 1 Teil Salpeter im Tiegel erhitzt, sodann 6 Teile Glaspulver und 3 Teile Mennige dazugethan, die während des Einschmelzens öfters umgerührt werden müssen. Oder man nimmt 1 Teil Braunstein, 2 Teile beste Schmalte, 8 Teile Glaspulver und 4 Teile Mennige. Zum Auftrag werden diese beiden nicht mit verdicktem Terpentinöl vermengt, sondern man bedient sich statt dessen einer konzentrierten Lösung von Borax.

Das schönste Violett ergibt eine Mischung aus 1 Teil violettem Goldpurpur mit 3 Teilen blauer Farbe. Andere Rezepte für Violett sind 1 Teil violetter Purpur, 6 Teile Flußmittel (aus 1 Teil Sand, 2 Teilen Mennige), $^1/_2$ Teil Borax oder 1 Teil hochgeglühtes, violettes Eisenoxyd, 3 Teile Flußmittel (aus 1 Teil Sand, 3 Teilen Mennige).

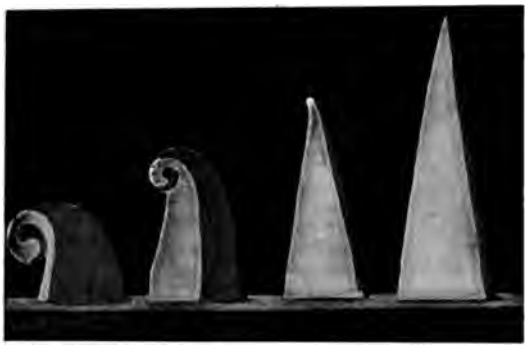
Die braunen Schmelzfarben werden fast durchweg aus Eisenoxyd hergestellt. Das hierzu verwandte Eisenoxyd wird durch Fällen einer Eisenoxydlösung mit ätzenden Alkalien oder Soda bewirkt; so dargestellt zeigt es eine braune Färbung, welche auch beim gelinden Erhitzen sich nicht verändert. Um die Färbung lichter zu machen, ist als Veränderungsmittel Zinkoxyd zu gebrauchen. Die Zink-Eisen-Mischung stellt man her durch Fällen der beiden Lösungen mit Soda. Diese braunen Farben sind sämtlich opal. Die transparenten braunen Schmelzfarben erhält man durch Zusammenschmelzen von Braunstein und Eisenoxyd mit Flußmitteln. Auch diese Farben werden nicht mit verdicktem Terpentinöl aufgetragen, sondern auch mit einer konzentrierten Boraxlösung. Zur Herstellung einer braunen Schmelzfarbe wird also das durch Fällen eines schwefelsauren Eisenoxyds mittels Soda, Auswaschen und Trocknen gewonnene braune Eisenoxyd mit 2 Teilen Flußmittel abgerieben; soll das Braun heller sein, so wird im selben Verhältnis ein Gemisch von Zink- und Eisenoxyd verwendet. Oder es werden 2 Teile Eisenoxyd, 3—4 Teile Zink mit 3 Teilen Sand, 6 Teilen Mennige und $1^1/_2$ Teilen Borax zusammengeschmolzen, abgeschreckt und gemahlen.

In Verbindung mit den gebrannten Schmelzfarben, oder auch für sich allein, wendet man häufig Metallverzierungen an. Diese Metallpulver werden zum Teil auf nassem Wege erhalten, in geringer Menge mit Flußmitteln versetzt und mit Terpentinöl abgerieben, aufgetragen und nach dem Einbrennen poliert. Oder man löst die Chlorverbindungen der Metalle in einem Gemisch verschiedener schwefelhaltiger Öle, trägt auf und erhitzt mäßig hoch. Das Metall bleibt so als unendlich dünnes, fest anhaftendes, spiegelndes Häutchen nach Verflüchtigung der übrigen Bestandteile zurück. Schließlich benutzt man auch, wie beim Belegen der Spiegel mit Silber und Gold, die Eigenschaft der alkalischen Lösungen des Gold- und Silberoxydes, durch Zusatz von Reduktionsmitteln das Metall in dünner Lage glänzend abzuscheiden, das sich fest an die Wandungen desjenigen Gefäßes legt, in welchem man diesen chemischen Prozeß sich vollziehen läßt. Mit Hilfe dieses Verfahrens ist man im stande, die inneren Flächen von Hohlgläsern wie die Spiegelgläser zu versilbern und zu vergolden. Die dazu verwandten Lösungen sind bei der Spiegelglasfabrikation erwähnt worden.

Soll jedoch die äußere Fläche von Hohlgläsern und Glasgegenständen auf diese Weise dekoriert werden, so kann man sich dieser Methode nicht bedienen. Um silberähnliche Verzierungen auf der Außenseite anzubringen, benutzt man das Platin. Das Verfahren zur

Verplatinierung ist ein weitaus anderes, als bei der Versilberung; es läßt sich nicht auf kaltem Wege, sondern nur unter Anwendung starker Wärme ermöglichen. Eine Platinierungsflüssigkeit wird nach Doré wie folgt bereitet: 100 g Platin werden in Königswasser (1 Teil Salzsäure, 3 Teile Salpetersäure) gelöst und die Lösung auf dem Wasserbade eingedampft. Der Rückstand wird in einem Porzellanmörser verrieben und mit Lavendelöl versetzt. Der Ölzusatz muß ganz langsam geschehen, um starke Erhitzung zu vermeiden. Man setzt 1400 g Öl hinzu und läßt es acht Tage stehen und dekantiert und filtriert nach dieser Zeit vom Bodensatze ab. Vor der Verwendung mischt man zu obiger Menge noch 25 g Bleiglätte und 25 g borsaures Bleioxyd, die zuvor mit 8—10 g Lavendelöl fein zerrieben wurden. Das innige Gemenge wird mit dem Pinsel aufgetragen und dann bei mäßiger Hitze eingebrannt. Das glänzend zurückbleibende, der Politur nicht mehr bedürfende Platin wird durch den Bleisatz an der Wandung festgehalten. Fällt man Platin aus seinen Lösungen als feines Metallpulver und mischt dieses mit dem Flußmittel (Magisterium Bismuthi), so läßt sich dasselbe durch Aufbrennen in der Muffel befestigen. Der Metallglanz ist jedoch durch nachträgliche Politur mit dem Achat und dem Blutstein hervorzurufen.

Vergolden läßt sich das Glas nach verschiedenen Methoden. Zur inneren Vergoldung von Hohlgläsern und der einseitigen Vergoldung von Spiegelgläsern wendet man ähnliche Methoden an wie beim Versilbern auf kaltem, nassem Wege (s. Spiegelbelegerei). Eine sichere Methode ist die nachstehende von Wernicke angegebene; dieser bereitet drei Lösungen: 1) Goldlösung: 1 g reines Gold wird in Königswasser aufgelöst und die Lösung eingedampft. Der Rückstand wird mit reinem Wasser gelöst und auf 120 ccm verdünnt. 2) Natronlösung: 6 g Natronhydrat werden in 100 g Wasser gelöst. 3) Reduktionsflüssigkeit. Als solche dient eine Lösung von 2 g Stückenzucker in 24 ccm Wasser, welche mit 24 ccm Alkohol und 24 ccm käuflichem Aldehyd von 0,875 spezifischem Gewicht vermischt wird. Diese Lösung muß vor dem Gebrauch stets frisch bereitet werden. Unmittelbar vor ihrer Verwendung werden diese drei Flüssigkeiten so gemischt, daß auf 24 Volumteile Goldlösung 16 Teile Natronlösung und 1 Teil Reduktionsflüssigkeit kommen. Nach 5 Minuten hat sich das Gold schon als spiegelnder Belag festgelegt. — Um die Oberfläche von Glasgegenständen teilweise mit Gold zu belegen, schlägt man genau denselben Weg ein wie beim Porzellan. Man trägt also in der Regel das Gold in feinster Verteilung mit Wismutfluß vermischt auf und brennt denselben im Muffelfeuer ein und poliert es, oder man vergoldet auf kaltem Wege mittels geeigneter Goldlösungen und Anwendung ganz geringer Hitze. Die Feuervergoldung ist teuer, aber dauerhaft, wohingegen die kalte Vergoldung billig, aber schlecht ist.



303. Segerkegel.

Um die auf Glas aufgetragenen Farben zu befestigen und zur Entwickelung zu bringen, müssen die Gegenstände, wie gesagt, längere Zeit einer höheren Temperatur ausgesetzt werden (Einbrennen). Die Erwärmung muß nach und nach erfolgen, damit die Glasmasse Zeit hat, sich allmählich gleichmäßig auszudehnen. Ist die nötige Temperatur erreicht, so wird das Glas sehr sorgfältig und ganz allmählich wieder abgekühlt, damit das Glas später nicht zerspringt. Die Temperatur beim Einbrennen der Farben darf selbstverständlich nicht so hoch gehen, daß das Glas weich wird und seine Form verliert; die Farben müssen also stets leichtflüssiger sein, als das zu verzierende Glas. Im allgemeinen aber eignen sich harte, strengflüssige Gläser als Unterlage für Malereien besser, als die weichen. Das Glas, längere Zeit einer höheren Temperatur ausgesetzt, darf keine Entglasungserscheinungen zeigen. Bei Dekoration farbiger, in der Masse gefärbter oder Überfanggläser, muß genaue Kenntnis vorausgesetzt werden, ob und unter welchen Umständen sich diese in der Muffel verändern. So geht z. B. das scharlachrote, durchsichtige, mit Kupfer hergestellte Überfangglas in ein undurchsichtiges, rotes oder braunes Email über, das sogenannte Hämatinon Pettenkofers.

So schwierig nun das Einbrennen der Glasfarben gegenüber den Porzellanfarben ist, so hat man doch in neuester Zeit viele Hilfsmittel gefunden, welche diese Operationen wesentlich erleichtern. Besonders wichtig beim Einbrennen der Farben ist die Temperaturbeurteilung. Das gewöhnliche, aber am wenigsten sichere Mittel ist, durch das Probeloch

der Muffel die Gläser zu betrachten und nach der Farbe derselben den richtigen Hitzegrad zu bestimmen. Geschickte Brenner täuschen sich sehr selten, doch ist eine solche sichere Beurteilung nicht jedem gegeben. Ein zweites Mittel, die richtige Temperatur zu erkennen, ist die Benutzung des Probeglases oder Scherbens. Dieses sind kleine Stücke Glas, worauf man in der Muffel Farben einbrennt und welche mit einer Farbe bestrichen werden, welche die Eigenschaft besitzt, ihren Ton bei den verschiedenen Feuergraden zu ändern. Man nimmt dazu Goldpurpur und helles und dunkelrotes Eisenoxyd. Drittens bedient man sich der Lufthermometer, während zugleich die Porzellan- oder Glasscherben, „Wächter" genannt, als wesentliches Hilfsmittel dienen. Die sicherste Kontrolle über die Temperatur gewinnt man jedoch mit Hilfe von Pyrometern. Unter diesen verdienen die von Seger geschaffenen unbedingt den Vorzug. Die Segerkegel haben sich in der Thonwaren-Industrie überall eingebürgert und werden in allen Betrieben mit Erfolg benutzt. Für die in Rede stehenden Zwecke der Glasindustrie würden sich die leichter schmelzenden Segerkegel für gewisse Glassorten eignen, oder aber man benutzt die von Hecht zusammengesetzten ganz

304. Die Öfen zum Einschmelzen der Farben.

leicht schmelzenden Kegel für das Muffelfeuer (022—015). Diese Pyrometer können nur von dem Chemischen Laboratorium für Thonindustrie in Berlin bezogen werden.

Die Temperatur, bei welcher gewöhnlich die Glasmalerfarben eingebrannt werden, ist die bekannte Kirschrot-Glühhitze. Die bemalten Gläser werden zunächst bei ganz gelinder Wärme in einen Trockenschrank behufs Verjagung der zugesetzten Öle getrocknet. Ein solcher Trockenschrank ist aus gebrannten Backsteinen aufgeführt, dessen Boden aus einer gußeisernen Platte besteht. Diese Platte liegt über der Heizung, durch welche der nötige Wärmegrad in einem Raume des Trockenkastens hergestellt wird. Der innere Raum ist transversal in kleineren Abständen übereinander mit in Rahmen gefaßten Drahtgeflechten versehen, welche eine freie Zirkulation der Luft im Inneren des Trockenschrankes gestatten. An der Vorderseite des Schrankes ist eine Thür angebracht, die verschlossen wird, sobald die zu trocknenden Gegenstände eingelegt sind. Die Heizung geschieht, wie bei einem gewöhnlichen Ofen, mit Holz oder Steinkohle.

Nach dem langsamen Erkalten werden die Gegenstände herausgenommen und in die Muffel zum Brennen eingebracht. Die Muffel besteht aus einem im vertikalen Quer-

ſchnitt rechteckigen, aus feuerfeſtem Material, aus einem Stück gefertigten, ſchwach gewölbten Kaſten, welcher in der Mitte der Decke ein Rohr trägt. Dieſes hat den Zweck, den während des Einbrennens ſich entwickelnden Verbrennungsprodukten freien Abzug zu geſtatten. An der Vorderſeite iſt die Muffel offen, um die Gläſer aus- und eintragen zu können. Die Thür, welche dieſe Öffnung verſchließt, paßt genau in einen Falz und wird während des Brandes, des beſſeren Schluſſes wegen, noch mit Thonbrei verſtrichen. An mehreren Stellen der Thür, bei kleinen Muffeln nur in der Mitte, ſind röhrenartige, cylindriſche Anſätze angebracht, welche dazu dienen, die Temperatur während des Einbrennens kontrollieren und die „Wächter“ einſetzen zu können.

Die Muffel wird gewöhnlich derart in den Ofen eingemauert, daß ſie nur auf einigen Bogen ſtehend ruht, direkt über der Feuerung, unter welcher ſich der Aſchenfall befindet. Das Gemäuer des Ofens, das die Muffel von drei Seiten umſchließt, muß einen Abſtand von 10 cm haben, ebenſo die gewölbte Decke, um den Flammen freie Umſpülung der Muffel an allen Teilen zu gewähren. Im Gewölbe ſind mehrere Löcher zum Austritt der Flammen und der Verbrennungsgaſe angebracht. Sind die Gläſer eingebracht und die Thüren vorgeſetzt und verſchmiert, ſo ſetzt man noch mit Backſteinen loſe den Raum zwiſchen Ofenwand und Muffel zu und beginnt vorſichtig mit dem Anfeuern. Als Brennmaterial dient am beſten Holz. Die bemalten Gegenſtände dürfen ſich natürlich nicht berühren, da ſie ſonſt aneinander haften würden. Deshalb lagert man jedes von den anderen iſoliert mit Hilfe von Thonplatten oder Platten aus Gußeiſen. Die einzelnen Platten hält man durch viereckige Thonſtäbe voneinander entfernt. Um ein Anhaften der Glasmaſſe an den Platten zu verhindern, werden die Trageplatten mit einem Anſtrich aus Kreide überzogen, der ſorgfältigſt vor der Benutzung getrocknet wird. Beurteilt man den Fortgang des Brandes mit Glasproben (Wächtern), die in die Öffnung der Muffel gelegt ſind, ſo unterdrückt man das Feuer, ehe noch das Probeglas völlig bis zum vollſtändigen Fluß der Verzierung gekommen iſt. Da im Mittelpunkte der Muffel die Temperatur höher iſt, als die im vorderen Teile, ſo hat man ſchon vor dem Fließen des Probeſcherbens die richtige Temperatur erreicht.

* * *

Wenn auch nicht alle Arten der Glasverzierung in genügender Weiſe des beſchränkten Raumes wegen angeführt werden konnten, ſo glauben wir doch, einen allgemeinen Überblick geliefert zu haben, und dürfen wohl hiermit das Kapitel über Glasinduſtrie ſchließen, um zum Schluſſe noch einige ſtatiſtiſche Angaben zu machen.

In England erreichte der Stand der Glasinduſtrie ſeinen Höhepunkt im Jahre 1873. Von da ab iſt ein Zurückgehen der engliſchen Glasinduſtrie zu beobachten, während in anderen Staaten, Frankreich, Belgien, Deutſchland und Amerika, eine Zunahme der Produktion zu beobachten war. Im Jahre 1874 exportierte Deutſchland im Werte von 875 000 Pfd. Sterl. und England im Werte von 1 183 515 Pfd. Sterl. Im Jahre 1884 führte Deutſchland bereits für 1 770 550 Pfd. Sterl. Ware aus, England nur für 1 251 769 Pfd. Sterl. Im Jahre 1894 war die Ausfuhr Deutſchlands noch erheblich größer geworden, und zwar führte es für 2 163 750 Pfd. Sterl. Glaswaren aus, während England nur für 715 398 Pfd. Sterl. ausgeführt hatte. Im Jahre 1897 betrug Deutſchlands Export 2 500 000 Pfd. Sterl. einſchließlich der Glasflüſſe und Emaillewaren. Die Ausfuhr an Glaswaren aus Deutſchland hatte ſich demnach in einem Zeitraum von 20 Jahren faſt verdreifacht.

Die chemiſche Induſtrie.

Die chemische Industrie.

Wenn wir uns in der Welt, in der wir leben, umsehen und jene zahllosen Dinge erblicken, die wir in unserer Zeit als für ein menschenwürdiges Dasein unentbehrlich erachten, so scheint uns das Vorhandensein der meisten von ihnen fast selbstverständlich. Wir haben sie von frühester Jugend auf gesehen, und da uns ihre Gegenwart in einer Zeit zum Bewußtsein kam, die noch jedes kritische Betrachten ausschloß, haben wir auch während unseres allmählichen Heranwachsens aus Gewohnheit an ihnen nichts Auffälliges mehr wahrgenommen. Mehr zufällig als in Form einer Belehrung erfahren wir gelegentlich, aber nur gelegentlich, etwas von der Herstellung und dem Ursprung einzelner dieser Gegenstände. Indem wir jedoch öfters merken, daß die, an welche wir uns hierdurch angeregt fragend wenden, gar nicht in der Lage sind, unsere Wißbegier zu befriedigen, hört allmählich das Fragen auf, und läßt die Schwierigkeit, Auskunft über das uns Interessierende zu erhalten, das Interesse an der Herkunft der Dinge selbst erkalten.

Mit zu den dem Nichtfachmanne geheimnisvollsten Gebieten gehören heutzutage die der Elektrizität und der Chemie, und mit der zweitgenannten Wissenschaft wollen wir uns hier speziell beschäftigen, soweit sie in das Leben der Menschheit eingreift, sowie sie als chemische Industrie zur Geltung kommt. Die zu dem Verständnisse dieser letzteren nötigen Kenntnisse aus der reinen Chemie, die wir im eigentlichen Werke immer nur, soweit es unbedingt nötig ist, berücksichtigen werden, wollen wir in möglichster Kürze vorausschicken. Hierbei werden wir uns der rein historischen Methode bedienen, indem wir so die Entwickelung dieser Wissenschaft an unserem Geiste vorüberziehen sehen und die wichtigsten jener Denkprozesse, welche sie auf ihre gegenwärtige Höhe gebracht haben, selbst durchdenken.

Die Chemie als Wissenschaft hat bekanntlich die Aufgabe, alles körperlich Vorhandene zu untersuchen, und so ist ihr kein Gegenstand zu gering, kein Untersuchungsobjekt zu kostbar. Unter Benutzung der auf diesem Wege gefundenen Thatsachen ist die chemische Industrie bestrebt, das für das Leben der Allgemeinheit Verwendbare für dieses nützlich zu machen, und so kommt es, daß, was bei Nichtchemikern zumeist die größte Verwunderung erregt, gerade sie aus scheinbar Wertlosem wieder neues Brauchbares zu schaffen vermag, wodurch ihr in den Augen vieler noch immer etwas Geheimnisvolles anhaftet. Wir werden z. B. später ausführlich darlegen, wie die chemische Industrie seit 200 Jahren aus Pottasche, Wolllumpen, Abfällen von Horn und ähnlichem nebst einer Eisenlösung eine der schönsten Farben, das Berliner Blau schafft, wie sie dieselben Materialien unter Fortlassung der Eisenlösung in Cyankalium zu verwandeln versteht, und wie wiederum dieses Cyankalium das Mittel ist, mit Hilfe dessen in neuester Zeit das Gold in Südafrika gewonnen wird. Und weiter werden wir z. B. sehen, auf welchen Wegen sie den scheinbar wertlosen Abfall der Leuchtgasanstalten, den Steinkohlenteer in glänzende Farben überführt, aber ebensogut aus ihm Phenacetin und Antipyrin schafft, welche die erregten

Nerven beruhigen, die Kopfschmerzen bannen, die die Aufregung unserer Zeit so reichlich mit sich bringt. Aber mit nicht minderer Kunst schafft die chemische Industrie aus dem Teer jene Riechstoffe, wie das Vanillin, den Wohlgeruch der Vanille, oder das Jonon, den Wohlgeruch der Veilchen, welche unsere Nerven angenehm erregen.

Zur Aufdeckung der Grundlagen der heutigen Chemie würde es genügen, etwa 200 Jahre zurückzugehen, für die Entwickelungsgeschichte der Menschheit überhaupt ist es aber interessant, auch die der Zeit nach viel weiter rückwärts liegenden Keime unserer Wissenschaft aufzusuchen, die für das Wohlbefinden der Völker so Ersprießliches geleistet hat, die im Verein mit den anderen Naturwissenschaften uns befähigt, allmählich immer tiefer in die Erkenntnis der Natur einzudringen.

Entwickelung der Chemie.

Die Geschichte der Chemie läßt sich in zwei große Abschnitte einteilen. Der eine beschäftigt sich mit der ältesten Zeit, in der zwar vereinzelt chemische Beobachtungen gemacht und zu bestimmten Zwecken ausgenutzt wurden — denken wir z. B. an die Gewinnung von Kupfer und von Zinn aus ihren Erzen, und die durch Zusammenschmelzen beider hergestellte Bronze — in welcher aber das Vereinzelte durch einen die verschiedenen Beobachtungen umfassenden Rahmen noch nicht zu einem Ganzen verbunden werden konnte. Der zweite Abschnitt behandelt diejenige Periode, in welcher die zu großer Reichhaltigkeit angewachsene Summe der Beobachtungen Ordnung und Zusammenhang erhielt, das Wesentliche und Gemeinsame herausgezogen und als Gesetz hingestellt wurde. Die einzelne Erscheinung tritt als solche zurück und erhält hier insofern vorzüglich Wert, als sie sich auf das Ganze bezieht.

Die Chemie als Wissenschaft hat bestimmte allgemeine Zwecke zu verfolgen, welche sich in den älteren Zeiten natürlich noch nicht geltend machen konnten. Und wenn das wahrscheinlich aus Ägypten stammende Wort „Chemie“ bereits vor mehr als 1400 Jahren gebraucht wurde, so ist dieses Wort seiner Bedeutung nach und der ihm zu Grunde liegende Begriff erst in verhältnismäßig sehr junger Zeit in seinen Konsequenzen klar bestimmt und abgegrenzt worden. Jenen zwischen den ältesten Spuren chemischer Beobachtungen und dem Beginne der neueren Chemie (Mitte des 17. Jahrhunderts) liegenden Zeitraum charakterisieren wiederum vornehmlich zwei Richtungen, in denen die chemischen Bestrebungen erfolgten. Zuerst war es das Bestreben der Metallverwandlung und besonders die Darstellung des Goldes aus minder edlen Metallen, welches vom 4. bis zum Anfang des 16. Jahrhunderts allen chemischen Unternehmungen zum Ausgang diente, das Zeitalter der Alchemie; nach diesem aber, bis in die Mitte des 17. Jahrhunderts, war das Ziel der Chemie die Erklärung und Heilung der Krankheiten, und wir können diese Periode das Zeitalter der medizinischen Chemie nennen.

Vor zwei Jahrhunderten endlich führten die zahlreich gemachten Erfahrungen zu dem Bestreben, die Gesetzmäßigkeit der Verbindungen festzustellen, welche die verschiedenen Körper miteinander eingehen, die man in immer größerer Menge zu beobachten Gelegenheit fand, sowie zuverlässige allgemein anwendbare Methoden zu ermitteln, jene Verbindungen zu zerlegen und neue zusammenzusetzen. Die Lösung dieser Aufgabe, nämlich die Veränderungen der Stoffe unter verschiedenartigen Kräfteeinwirkungen kennen zu lernen und damit das innere Wesen der körperlichen Dinge zu erschließen, charakterisiert die neuere Chemie. In ihr bezeichnet das Auftreten Lavoisiers (siehe weiterhin) jenen bedeutungsvollen Abschnitt, der mit der Anwendung von Wage und Gewicht, die mit ihm erst zur endgültigen Anerkennung gelangten, ein absolutes Kriterium „Maß und Zahl“ in die Welt der chemischen Beobachtungen einführte. Die dadurch eingeleitete Periode der quantitativen Untersuchungen ermöglichte dann jene Erfolge, deren wir uns heute erfreuen.

Die chemischen Kenntnisse der Alten. Es dürfte unmöglich sein, bei dem Mangel direkter Überlieferungen und bei der Unsicherheit, welche jeder Vergleichung der jetzt noch im Urzustande lebenden Völker mit den ältesten Vorfahren der großen Kulturvölker anhaften muß, eine genaue Vorstellung von allen denjenigen Verfahrungsarten zu gewinnen, die von frühester Zeit an absichtlich zur Umwandlung mancher natürlich

vorkommenden Materialien in Gebrauchsgegenstände angewandt worden sind. Ein Zweig von allen ist besonders für uns hier wichtig, die Gewinnung und Benutzung der Metalle, weil dieser die Kenntnis der unorganischen Körper wesentlich und um so mehr erweitern mußte, auf je mehr Metalle sich diese Kenntnisse allmählich erstreckten.

Einige Metalle, namentlich Kupfer, finden wir schon so früh im Gebrauch, daß historische Zahlenangaben für die Zeit ihrer ersten Anwendungen unmöglich sind. Ja selbst über die Art, wie einzelne besonders tüchtige Menschen der Urzeit — und es müssen das sehr tüchtige Menschen gewesen sein, die ohne jede Spur von Vorkenntnissen ihre Entdeckungen zu machen hatten — Metalle gewonnen haben, ist uns nichts bekannt. Erst in den Schriftdenkmälern der ältesten Völker, z. B. der Ägypter, die aber weit jünger als die früheste Metallgewinnung sind, finden wir einige Angaben darüber, ja auch sonstige chemische Mitteilungen finden sich bereits in den ägyptischen Inschriften. Ohne Metallkenntnis hätten diese sicher ihre großen Bauten nicht errichten können, aber weiter findet man dort auch bereits Angaben über die Herstellung des Glases, und feinglasierte von ihnen hergestellte Thonwaren zieren heute manches ägyptische Museum. Auch im Färben hatten sie große Übung, und von einem ihrer Könige rühmen sie, daß er der Erfinder der ersten blauen Farbe gewesen sei. Die fäulniswidrige Kraft vieler Substanzen kannten sie auf das genaueste, wovon uns die wohlerhaltenen Mumien noch heute lebendige „tote Zeugen" sind. Schon Homer rühmt die reichen medizinischen Kenntnisse seiner ägyptischen Zeitgenossen, aber erst der neuesten Zeit blieb es vorbehalten, durch Entzifferung des Papyrus Ebers und anderer, deren Inhalt sich im wesentlichen auf Arzneimittel bezieht, einen überraschenden Einblick in die ägyptische Heilkunde zu gewinnen. Kurzum, ihre Kenntnisse auf chemischem Gebiete sind ganz anerkennenswerte gewesen.

Nicht viel verschieden von dem ägyptischen scheint, abgesehen von der Heilkunde, das Wissen der Phönicier gewesen zu sein. Während aber die Ägypter fast nur auf die Erzeugnisse ihrer Heimat angewiesen waren, nutzte dieses unternehmungslustige Volk die Mittel der ganzen ihm erreichbaren Welt aus, holte das für jene Zeit so wichtige Zinn von England, das also mit Kupfer zusammengeschmolzen als Bronze lange Zeit die Stelle des Eisens, welches weit schwerer zu gewinnen ist, einnahm, weshalb wir von einer Bronzekulturepoche, die der Eisenperiode vorausgeht, sprechen.

Die Zunahme derartiger Kenntnisse im Orient scheint eine sehr unbedeutende gewesen zu sein, man begnügte sich mit dem Errungenen, und selbst die jüngeren Bücher der Bibel deuten auf weniges Neue hin.

Auch bei den Griechen erfuhren die Naturwissenschaften, also auch die Chemie, infolge ihrer ganzen Geistesrichtung nur geringe Beachtung. Bei Homer ist Eisen ein seltenes Metall, und die Bereitung von Arzneistoffen, wie sie der ausgezeichnete Arzt Hippokrates im 5. Jahrhundert vor Christus lehrte, geschah noch ohne Heranziehung irgend welcher chemischer Manipulationen. Der ziemlich zur gleichen Zeit wie Hippokrates lebende Philosoph Demokrit von Abdera, welcher aus Versuchen und Beobachtungen Belehrung und Aufklärung zu erlangen suchte, gehört zu den Ausnahmen. Die Griechen hatten nun einmal weit mehr Neigung zur Philosophie als zu den Naturwissenschaften. Sie wollten immer nur den Zusammenhang der Welt vom kleinsten bis zum größten durch rein spekulatives Denken zu erkennen versuchen, während die eigentlichen Naturwissenschaften ihre Kenntnisse der Natur durch das Experiment abzuzwingen unternehmen. Aristoteles behauptet zwar, daß Meerwasser, wenn man es durch Thon filtriert, trinkbar werde, und Plato ergeht sich in Versuchen, das Rosten des Eisens zu erklären, aber man kann eher sagen, daß des Aristoteles durch nichts begründete Aufstellung der vier Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde und ihrer Elementareigenschaften, denen zufolge das Feuer heiß und trocken, die Luft heiß und feucht, das Wasser feucht und kalt und die Erde kalt und trocken sein sollte, bei der Autorität, welcher sich seine Werke bis ins späte Mittelalter erfreuten, geradezu hindernd auf die Ausbildung der Chemie als Wissenschaft gewirkt hat, indem der Autoritätsglaube die späteren Forscher vom unbefangenen Betrachten der chemischen Vorgänge zurückhielt.

In der Blütezeit des römischen Reiches gab die durch die großartigen Heereszüge der Römer bewirkte Bekanntschaft mit anderen Nationen Veranlassung zu bedeutenden Erweiterungen der uns hier interessierenden Kenntnisse. Wir wissen Näheres darüber namentlich aus den Werken des Dioskurides, der in der Mitte des 1. Jahrhunderts lebte, sowie aus denen des Cajus Plinius des Älteren. Auch bei ihnen ist von kritischer Sichtung noch keine Rede, nur die Thatsachen und Verfahren teilen sie mit. So kennt Plinius das Quecksilber, weiß, daß es Gold auflöst, und daß das so erhaltene Amalgam zum Vergolden dienen kann, indem man es auf das zu Vergoldende streicht und durch Erhitzen im Feuer das Quecksilber verflüchtigt. Er weiß weiter, daß die Metalle beim Erhitzen an der Luft sich ändern, in ihre Oxyde (Sauerstoffverbindungen), wie wir heute sagen, übergehen, und solche Oxyde wandte man nach ihm in der Arzneikunde an, und so fort.

Eigentliche Chemie finden wir erst bei den Arabern, die durch die Unterwerfung Ägyptens mit auf diese bezüglichen Kenntnissen bekannt wurden und zuerst ernstlich chemische Vorgänge zu erklären versuchten. Aber ihre Thätigkeit auf diesem Felde erhält von vornherein einen sehr merkwürdigen Hintergrund. Ihre Arbeiten auf diesem Gebiete sollen nicht eine Wissenschaft fördern, nicht der Naturerkenntnis dienen, sondern sie haben den Zweck, künstlich Gold herzustellen und womöglich den sogenannten Stein der Weisen zu finden, der dem ihn Besitzenden ein in jeder Beziehung glückliches Leben bringen sollte. Man hat es sehr merkwürdig gefunden, daß die Sucht, künstlich Gold zu machen, erst in den spätesten Zeiten der Völkerwanderung auftritt, obgleich doch schon die Griechen und Römer sicher große Verehrer dieses Metalles gewesen sind. Man glaubt jedoch die Erklärung jetzt hierfür in folgendem finden zu können. Das Altertum hat so viel Gold, als es für seine Zwecke benötigte, im großen ganzen besessen. In den Zeiten der Völkerwanderung ging dieser Vorrat aber durch die ewigen Kriege verloren, und da die wilden Zeiten auch allen Bergbau lahmlegten, trat allmählich ein solcher Mangel an diesem bequemsten Tauschmittel ein, daß man ihm instinktiv auf jede Weise abzuhelfen sich bemühte, und so auf die Idee, die künstliche Herstellung von Gold zu versuchen, verfiel. Solche Versuche sind noch vereinzelt bis in unser Jahrhundert hinein unternommen worden, und man bezeichnet die Zeit, in der diese Vorstellung die Köpfe aller Forscher auf chemischem Gebiete beherrscht, wie erwähnt, als die Zeit der Alchemie.

305. Der Alchemist Geber.
Nach Jean de Bries.

Der bedeutendste sämtlicher arabischer Chemiker ist Geber gewesen, der im 8. Jahrhundert lebte, und in dessen erhalten gebliebenen Werken sich bereits viele ausgezeichnete Beobachtungen finden. Geber hat wohl zuerst die Destillation angewandt und so Schwefelsäure, Salpetersäure und ähnliches erhalten. Durch Zugabe von Salz zur Salpetersäure erhielt er das Königswasser (jetzt bekanntlich ein Gemisch von Salpetersäure und Salzsäure), welches das Gold löst. Mit Hilfe seiner Säuren stellte er viele neue Verbindungen her, so das salpetersaure Silber, das Quecksilberchlorid und ähnliche. Für die Möglichkeit der künstlichen Goldherstellung gibt er folgende Theorie. Alle Metalle sind von einem Vater und von einer Mutter geboren, setzen sich also aus mehreren Bestandteilen zusammen. Da sich nun in der Natur die Metalle häufig mit Schwefel verbunden finden, sah er in diesem ihren Vater, während das Quecksilber, welches schon bei gewöhnlicher Temperatur zu Thränen zerfließt, die Mutter sein sollte. Wenn auch das Zinn, das Blei und das Silber, sagt er weiter, härter als dieses sei, so wären doch auch sie durch Erhitzen im Feuer zu zwingen, ihre weibliche Natur zu offenbaren. Seine Leistungen überragen bei weitem die seiner Nachfolger wie Rhazes, Avicenna, Avenzoar, Albukases u. s. w., die alle mehr Ärzte als Chemiker waren, und wenn sie sich auch mit

Experimentieren beschäftigten, doch die Buchgelehrsamkeit sehr hoch stellten, so heißt es bei Rhazes: „1000 Ärzte haben vielleicht seit 1000 Jahren an der Ausbesserung der Arzneikunst gearbeitet, wer also ihre Schriften mit Fleiß und Nachdenken liest, entdeckt in einem kurzen Leben mehr, als wenn er 1000 Jahre zum Kranken liefe."

Mit dem 12. Jahrhundert beginnt dann die Überflügelung der Araber durch die Bestrebungen des westlichen Europa auf diesem Gebiete, das mit dem 13. Jahrhundert die Führung übernimmt. In diesem beginnt aber zugleich die eigentliche Blüte der Goldmacherkunst, und die Höfe der immer geldbedürftigen Fürsten werden zu Sammelpunkten betrogener oder betrügerischer Adepten, welches von nun ab die Bezeichnung für Goldmacher wird. Denn wenn auch so bedeutende Männer wie Albertus Magnus, Roger Baco, Arnoldus Villanovus, Raymundus Lullus und andere, die um diese Zeit lebten, mit ernstestem wissenschaftlichen Eifer auf dem Gebiete der chemischen Forschung thätig waren, so wurde sie doch von ihren meisten Jüngern nur in der Hoffnung großen Gewinnes betrieben. Neben weiter zu nennenden, von ernstem Streben beseelten Forschern, wie Isaac und Johann Hollandus, Bernhard von Trevigo, Basilius Valentinus finden wir jetzt

306. Im Laboratorium eines Alchemisten. Nach Holbein.

eine große Anzahl notorischer Betrüger, von denen z. B. Hieronymus Crinot behauptete, so viel Gold hergestellt zu haben, daß er damit 1300 Kirchen zu erbauen vermochte. Verloren die Fürsten die Geduld, wenn ihre Adepten ihre Versprechungen nicht hielten, so kamen diese auch wohl recht schlecht fort, so ließ der deutsche Kaiser Rudolf den Engländer Kelley, den er anfangs in den Freiherrnstand erhoben hatte, hernach einkerkern, ja die Leipziger Juristenfakultät verurteilte den Adepten Beuther zur Staupe, weil er das ihm bekannte Geheimnis der Goldherstellung nicht zum Vorteil seines Kurfürsten ausgeführt habe, und außerdem auch noch zu lebenslänglicher Gefangenschaft, damit er seine Kunst nicht etwa anderen Potentaten verrate.

Einen gewaltigen Fortschritt gegenüber Geber weisen erst die Werke Alberts von Bollstädt auf, seiner großen Kenntnisse halber auch Albertus Magnus genannt. Er lebte von 1193—1280. Seine bedeutenden Leistungen brachten ihn schließlich in den Ruf eines Zauberers, ein für ihn, zumal er Mönch war, damals geradezu lebensgefährlicher Verdacht, von dem er sich zu befreien wußte, indem er zeigte, daß seine Erfolge Folgerungen aus exakten Forschungen seien. Etwa ein Jahrhundert später finden wir bei

Basilius Valentinus außer vielen neuen medizinischen Kenntnissen die ersten Andeutungen von chemischen Analysen, die allein die Grundlage aller wahren chemischen Forschung abgeben können, indem doch nur auf dem Wege der Analyse die Zusammensetzung der Körper aus ihren Bestandteilen erkannt werden kann. Stößt man dabei auf Bestandteile, die jeder weiteren Zerlegung widerstehen, so muß man in ihnen Grundbestandteile sehen, für welche wir jetzt den Namen Elemente gebrauchen. Nur durch exakte Analyse konnte z. B. gezeigt werden, daß Gold ein unzerlegbarer Körper sei, also nicht etwa aus zwei Bestandteilen, durch deren Zusammenbringen es wieder hergestellt werden könne, bestehe. Erst nicht anzuzweifelnde Analysen waren der Tod der Alchemie.

307. Denkmal des Albertus Magnus zu Lauingen a. d. Donau.

Das Zeitalter der medizinischen Chemie. Mit Valentinus findet zwar nicht zum erstenmal die Ausnutzung chemischer Kenntnisse zur Erklärung gewisser Vorgänge im menschlichen Körper und der Gebrauch chemischer Präparate als Heilmittel statt, aber es ist dieser in den Vordergrund gestellte Zweck fast aller damaligen Arbeiten auf chemischem Gebiete, welcher der nun folgenden Periode den an die Spitze gestellten Namen eingetragen hat. Mit dem 16. Jahrhundert machte sich, namentlich durch Paracelsus angeregt, eine gemeinsame Auffassung der Chemie und Medizin geltend, und zwar in so hohem Grade, daß schließlich die letztere nur als ein Teil der angewandten Chemie betrachtet wurde. Neben Paracelsus müßten hier noch van Helmont und de le Boë Sylvius genannt werden. Sie gingen von dem Gedanken aus, daß alle Verrichtungen des menschlichen Körpers durch gewisse chemische Vorgänge bedingt, daß der menschliche Organismus lediglich das Produkt chemischer Prozesse und der ganze Lebensprozeß nichts weiter als eine Reihe von chemischen Umsetzungen sei. Allerdings glaubten jene Männer sowie ihre weniger bedeutenden Zeitgenossen mehr oder minder auch noch an die Veredelung der Metalle, sie machten dieselbe aber nicht mehr zur alleinigen Aufgabe ihrer chemischen Arbeiten. Diesen Jatrochemikern (ἰατρός der Arzt), wie sie genannt worden sind, galt als Hauptaufgabe die Erforschung der wesentlichen Bestandteile des Körpers, die den Gesundheitszustand der einzelnen Organe bedingen und auf diesen einwirken.

Der eben genannte Theophrastus Paracelsus Bombastus von Hohenheim war 1493 zu Einsiedeln in der Schweiz geboren und starb 1541 zu Salzburg. Sein Vater, ein Arzt, unterrichtete ihn zeitig in den alten Sprachen, in der Heilkunde, Astrologie und Alchemie. Seine weitere Ausbildung scheint Paracelsus an vielen Orten gesucht zu haben, denn während eines höchst abenteuerlichen Jugendlebens durchzog er nach seiner

Angabe als fahrender Scholast fast ganz Europa und das Morgenland. Sammelte er auf diese Weise auch eine reiche praktische Erfahrung, so verschaffte sie ihm doch nicht eine streng wissenschaftliche Bildung. Ja, er rühmte sich geradezu, in zehn Jahren seiner Reisen kein Buch angesehen zu haben. Bezeichnend für seine Mißachtung einer gründlichen Ausbildung auf seinem Gebiete ist sein Ausspruch: Für die Kenntnis nützlicher Arzneien gegen die Epilepsie sei es ganz gleichgültig zu wissen, wo Gehirn und Leber liegen. Vielerlei Kenntnisse und geniale Befähigung standen ihm unleugbar zur Seite, während vieles, an dem die gelehrten Gegner hingen, als entschieden Verrottetes sich aufdecken ließ. Die Wissenschaft wolle er so einfach machen, sagte Paracelsus, daß sie der Geringste verstehen könne, und in der That erfreuten sich seine Vorträge, die er als Professor der Naturgeschichte und Medizin an der Hochschule zu Basel in deutscher Sprache hielt, nicht weniger durch ihre Originalität, als durch ihre scheinbare Popularität, die freilich häufig in Trivialität überging, eines bedeutenden Zulaufs.

308. Theophrastus Paracelsus.

Gleichzeitig mit Paracelsus lebte in Sachsen ein Forscher, der ebenfalls Arzt wie sein Zeitgenosse, die Chemie, wenn auch nach einer ganz anderen Richtung hin, auf das wesentlichste förderte, und die mit ihr nahe verwandten Wissenschaften der Mineralogie und Hüttenkunde derart in ihrem Zwecke bestimmt und in ihrem Material bereichert hat, daß wir ihn als den eigentlichen Begründer dieser beiden Wissenschaften ansehen können. Dieser Mann war der 1494 zu Glaucha bei Meißen geborene Georg Agricola.

Die Fortschritte, welche ihm die Chemie verdankt, betreffen somit besonders die metallurgischen Prozesse, für welche er neue rationellere Methoden erfand. Hinsichtlich der Untersuchung der Erze auf ihren Metallgehalt verdankt die Hüttenkunde ihm ebenfalls höchst wertvolle Vorschriften, die sich nicht nur über die dabei zu befolgenden Prinzipien verbreiten, sondern auch zweckmäßige Geräte, Ofenkonstruktionen u. s. w. berühren, und die bis zum Anfang des 18. Jahrhunderts maßgebend geblieben sind. Die Mineralogie verehrt ihn besonders als den Schöpfer des ersten Systems, nach welchem eine Klassifikation aller Mineralien versucht werden konnte. Agricola starb 1556 zu Chemnitz.

Wir wenden uns nunmehr unter Übergehung der nicht sehr bedeutenden Leistungen der Zwischenzeit gleich zu Libavius (zu Halle geboren; ursprünglich Arzt, starb er als Gymnasialdirektor zu Koburg 1616). Er erfand neue Methoden, die ihm nicht nur zur Prüfung der damals angewandten Heilmittel dienten, sondern ihn zugleich zum Entdecker zahlreicher neuer wichtiger Verbindungen werden ließen. Die Methode, durch Verbrennen von Schwefel mit einem Zusatz von Salpeter Schwefelsäure herzustellen, welche der jetzigen Schwefelsäurefabrikation im Prinzip noch zu Grunde liegt, hat in ihm ihren Urheber. Der Ausdruck Spiritus fumans Libavii ist ein noch gebräuchlicher Name für Vierfachchlorzinn, welches er durch Destillation von Quecksilbersublimat mit Zinn erhielt. Wie

objektiv und unbefangen seine Art zu schließen war, beweist am besten der Umstand, daß er bereits den Gehalt der Mineralwässer an festen Stoffen lediglich von den aufgelösten Bestandteilen des Bodens, welche das Wasser durchsickerte, ableitete. Neben Libavius, der auch der Verfasser des ersten und auf lange Zeit besten chemischen Lehrbuches gewesen ist, ist aus dem ersten Viertel des 17. Jahrhunderts noch der durch seine chemischen Kenntnisse ausgezeichnete Angelus Sala zu nennen. Hervorragender noch als beide ist Johann Baptist v. Helmont (geb. 1577 zu Brüssel, gest. 1644). Er bemerkte als erster, daß das Volum der Luft abnimmt, wenn ein Körper in ihr verbrennt, eine Beobachtung, deren volle Bedeutung er aber noch nicht zu würdigen wußte, die jedoch von so großer Wichtigkeit ist, daß ihre richtige Erklärung durch Lavoisier die Grundlage der ganzen heutigen chemischen Wissenschaft geworden ist. Auch verstand er schon recht gut mit Gasen zu arbeiten und einzelne Gasarten sicher voneinander zu unterscheiden. Seine Anschauungen über Metalle sind bereits recht klar, so z. B., daß kein Metall aus einer Flüssigkeit abgeschieden werden kann, das nicht vorher schon darin war (Kupfer z. B. aus der Lösung des blauen Vitriols); ferner: ein Stoff kann zahlreiche Verbindungen eingehen und aus einer in die andere geführt werden, ohne daß er dadurch an seiner Eigentümlichkeit einbüßt und bei seinem endlichen Ausscheiden ein anders gearteter geworden wäre, als er vorher war.

309. Georg Agricola.

Der erste bedeutende Chemiker, der dann wieder Chemie ohne Rücksicht auf Medizin trieb, war Johann Rudolf Glauber (geb. 1604, gest. 1688). Glauber hielt sich ziemlich frei von den Vorurteilen seiner Zeit, und ließ sich bei seinen zahlreichen Entdeckungen durch sie nicht beirren, welche uns sein fruchtbares Beobachtungstalent, das ihn vor allen anderen auszeichnet, erkennen lassen. In der Erklärung vieler reinchemischer Vorgänge war er sehr glücklich, und die Schlüsse, die er daraus zu ziehen vermochte, hatten nicht selten hohen praktischen Wert. Durch gegenseitige Einwirkung verschiedener Stoffe aufeinander stellte er eine große Anzahl neuer Verbindungen oder bekannte Körper auf bequemere Weise dar. Eine derselben, die ihrer arzneilichen Wirksamkeit wegen rasch großen Ruf erhielt, hat den Namen ihres Darstellers sogar populär gemacht, es ist das schwefelsaure Natron, welches noch jetzt im gewöhnlichen Leben Glaubersalz heißt. Die chemische Technologie hat auch aus den Glauberschen Vorschriften sehr bemerkbaren Nutzen gezogen. Für die Fabrikation des Salpeters, die Darstellung verschiedener gefärbter Glasflüsse, für die Färberei und die Verhüttung der Erze sind dieselben in gleich ausgezeichneter Weise fruchtbar gewesen. Auch die Ausnutzung der Bodenschätze suchte Glauber in die Höhe zu bringen, und sein sechs Bände starkes Werk „Teutschlands Wohlfahrt“ ist zum Teil eine und zwar die älteste chemische Technologie. Wenn auch Glauber nicht direkt den Anschauungen der Jatrochemie gemäß die Chemie behandelt, so hat er doch mittelbar durch die Darstellung zahlreicher neuer Verbindungen, deren arzneiliche Wirkung sich oft als eine sehr zuverlässige erwies, noch auf die Heilkunde einen namhaften Einfluß ausgeübt.

Glaubers Thätigkeit und die einiger weniger bedeutenden Zeitgenossen bilden nunmehr den Übergang zur „neueren Chemie“. Die rein wissenschaftliche Durchdringung

anderer Teile der Naturwissenschaften, es sei an Männer wie Kepler (1571—1630), Galilei (1564—1642), Torricelli (gest. 1647) erinnert, wirkte mächtig auf die Vorstellungen der Chemiker. Von gleichem Forschungstriebe erfüllt, erkennen sie nunmehr die Allgemeinheit einzelner chemischer Prozesse und stellen deren Erforschung in den Vordergrund. Dahin gehört vor allem einer der auffallendsten Vorgänge in der äußeren Natur, die Verbrennung.

Die Phlogistiker. Die neuere Geschichte der Chemie zerfällt wiederum in zwei an sich gegebene Abschnitte. Anfangs konnte man noch hoffen, durch Beobachten der qualitativen Erscheinungen der äußerlichen Beschaffenheit, also der Stoffe und ihrer Verbindungen, zu genügenden Erklärungen zu gelangen. Doch überzeugte man sich bald, daß diese Grundlage der Betrachtung nicht ausreicht, sondern daß man die Wage zu Hilfe nehmen muß, um zur Klarheit zu gelangen, daß nur das Betrachten der quantitativen Verhältnisse also der Mengenverhältnisse, nach denen bestimmte Stoffe zu bestimmten Verbindungen zusammentreten oder aus denselben ausscheiden, sichere allgemeine Schlüsse zu ziehen gestattet. Vor Benutzung der Wage war es daher noch möglich, irgend welche eingebildeten Stoffe willkürlich anzunehmen, die durch ihr Hinzutreten oder ihr Entweichen chemische Prozesse bewirken sollten, weil man sie nicht besser zu erklären wußte. Da das Gewicht der Körper vor oder nach ihrer chemischen Veränderung in keiner Weise berücksichtigt wurde, und da man sich merkwürdigerweise nicht einmal die Mühe gab, jene hypothetisch angenommenen Körper für sich darstellen zu wollen, und somit jede Kontrolle über deren wirkliches Vorhandensein fehlte, so hatte ihre Ausnutzung zu verschiedenen Theorien vollkommen freies Spiel. Ein solcher nur in der Einbildung vorhandener chemisch thätiger Körper war nun das sogenannte Phlogiston, von dessen Existenz die Chemiker über ein Jahrhundert lang überzeugt waren. Das Phlogiston war erfunden worden, um die Verbrennung erklären zu können, und der Kreis seiner Wirksamkeit wurde bestimmt, wie es die mit ihm zusammenhängenden chemischen Prozesse verlangten.

So falsch nun auch die auf dasselbe gegründete phlogistische Theorie sein mochte, so hat sie doch für die Chemie den großen Nutzen gehabt, daß man endlich sich daran gewöhnte, eine ansehnliche Reihe von Erscheinungen zusammenzufassen und unter einem einzigen Gesichtspunkte zu betrachten. Die Ansicht, daß aus jedem verbrennenden Körper sich ein Etwas ausscheide, was uns als Flamme sichtbar wird, und daß die bei der Verbrennung zurückbleibenden Stoffe Bestandteile des verbrannten Körpers gewesen seien, war eine sehr alte, es kam jetzt darauf an, jenes entweichende Etwas begrifflich genauer zu fixieren und die Art und Weise seiner Verbindungen klarzulegen. Dies that Stahl (geb. 1660 zu Ansbach, gest. 1734 zu Berlin) mit der Annahme des erwähnten Phlogistons in so geistreicher und erschöpfender Weise, daß seine Theorie alle damals bekannten auf Verbrennung beruhenden Vorgänge qualitativ recht gut erklärte. „Alle verbrennlichen, sowohl organischen als unorganischen Körper", lehrte Stahl, „enthalten einen gemeinschaftlichen Bestandteil, das Phlogiston; beim Verbrennen entweicht dasselbe, und je nachdem es in größerer oder geringerer Menge vorhanden war und mit größerer oder geringerer Heftigkeit fortgeht, sehen wir eine Flamme oder nur allmähliche Veränderungen, wie beim Verkalken oder, wie wir heute sagen, bei der Oxydation der Metalle. Kohle, Schwefel, Phosphor und ähnliche Körper enthalten sehr viel Phlogiston. Bei der Verbrennung von Schwefel und Phosphor entstehen gewisse Säuren, diese müssen also in jenen Körpern mit Phlogiston verbunden enthalten gewesen sein u. s. w." Man wußte schon damals, daß das Verkalken der Metalle nichts weiter sei als eine langsame Verbrennung. Daher glaubte man nunmehr, daß, wie der gewöhnliche Schwefel eine Verbindung von Schwefelsäure und Phlogiston sei, z. B. das Eisen eine Verbindung von Phlogiston mit Eisenrost sei. In entsprechender Weise wurde die Theorie des Phlogiston weiter auf alle Körper angewandt. Wollte man Eisen aus Eisenrost herstellen, so mußte man demselben Phlogiston zuführen; dies gelang durch Erhitzen mit einem phlogistonreichen Körper, z. B. mit Kohle, welche dabei verbrannte. Man sieht, daß sich solche Erklärungen mit der Praxis sehr gut vereinigen ließen. Wie das Prinzip der Verbrennung geeigenschaftet sei, darüber machte man sich im Anfange keine großen Bedenken. Wenn

bereits positiv festgestellte Thatsachen darauf hinzuweisen schienen, daß, weil z. B. der Eisenrost ein größeres Gewicht habe als das Eisen, woraus er entstanden, von dem Entweichen eines Stoffes bei dem Übergang von Eisen in Eisenrost (Eisenoxyd) daher wohl nicht die Rede sein könnte, so wurden dieselben als unwesentlich vernachlässigt. Kurzum, die phlogistische Theorie war ein Mittelpunkt, um den sich die bei weitem größte Zahl wichtiger chemischer Erscheinungen übersichtlich und verständlich gruppieren ließ, und deshalb wurde sie zu einem Gesetz, welches besonders durch die um die Mitte des 17. Jahrhunderts zahlreich entstehenden gelehrten Gesellschaften Anerkennung und Verbreitung gewann.

Ausgezeichnetes leistete noch vor der Zeit der Phlogistontheorie auch der englische Forscher Boyle (1627—1691). Bei ihm findet sich zuerst die Theorie der chemischen Verwandtschaften und die Abgrenzung und Charakterisierung der so wichtigen Gruppen Alkalien, Säuren und Salze. Auch hat er die ersten Grundlagen der Analysen auf nassem Wege, welche die vollkommenste aller analytischen Methoden ist, ausgearbeitet. Er starb als Präsident der nicht lange vor seinem Tode gegründeten Royal Society in London. Neben der Royal Society ist die noch heute in Deutschland blühende Academia Caesarea-Leopoldina die kaiserlich leopoldinische Gesellschaft zu nennen. Sie ist aus einer von einigen Schweinfurter Ärzten 1651 gegründeten Vereinigung hervorgegangen und gibt seit 1670 alljährlich Miscellaneen heraus. Im Jahre 1672 erhielt sie von Kaiser Leopold I. ihre Bestätigung.

310. Robert Boyle.

Die Stahlsche Lehre vom Phlogiston erlag dann allmählich der fortschreitenden chemischen Erkenntnis, welche immer neue Resultate zeitigte, die mit ihr unvereinbar waren. So fand Black (geb. 1728 zu Bordeaux, gest. 1799 zu Edinburg), daß sich kaustisches Alkali mit Kohlensäure unter Aufhebung der Kaustizität vereinige, was mit jener Theorie ganz unvereinbar ist. Cavendish (geb. 1731 zu London, gest. ebendaselbst 1810) entdeckte das Wasserstoffgas, und weil es sich bei der Oxydation mancher Metalle in Gegenwart schwacher Säuren bildet, glaubte er anfangs, in ihm das Phlogiston gefunden zu haben. Sowohl er selbst wie andere bedeutende Chemiker beschäftigten sich jetzt, vielleicht teilweise aus diesem Grunde, viel mit Gasen, deren Untersuchung ein immer größeres Interesse in Anspruch nahm. Priestley (geb. 1733, gest. 1804) entdeckte das Sauerstoffgas, das Stickoxydulgas, das Kohlenoxydgas, die gasförmige schweflige Säure, die gasförmige Salzsäure und ebenso das gasförmige Ammoniak und Kieselfluorgas. Des großen Botanikers Linné erfolgreiche Arbeiten hatten im vorigen Jahrhundert ein eifriges naturwissenschaftliches Streben auch in Schweden angeregt. Als Chemiker zeichneten sich namentlich Bergmann (geb. 1735, gest. 1784) und Scheele (geb. 1742, gest. 1786) aus. Ersterer war ein vorzüglicher Analytiker, und letzterer hat sich um die

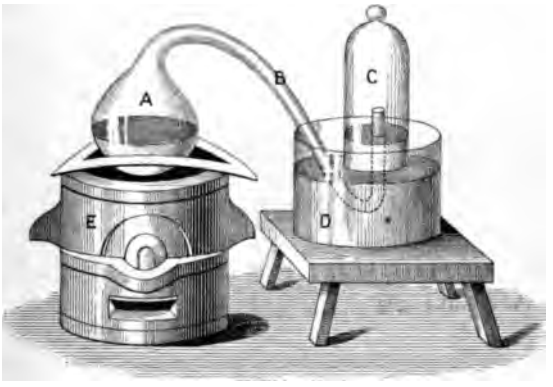
verschiedensten Gebiete der Chemie hoch verdient gemacht. Wir wollen hier nur erwähnen, daß er Entdecker des Chlorgases ist, und indem er wiederum in diesem das Phlogiston gefunden zu haben glaubte, sehen wir, daß selbst die tüchtigsten Chemiker noch zu Beginn der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts sich von dieser Theorie nicht loszusagen vermochten.

Den Mut, die vielen bereits bekannt gewordenen Thatsachen, denen er eine Anzahl neuer hinzufügte, zum Sturz der Phlogistontheorie zu verwenden und mit glücklichstem Erfolge an ihre Stelle das Richtige zu setzen, hatte, mit einer Art von genialer Begabung für die Erkennung des Richtigen von der Natur beschenkt, erst Antoine Laurent Lavoisier. Lavoisier war am 16. August 1743 zu Paris geboren, studierte unter Lacaille Astronomie, unter Rouelle Chemie und unter Jussieu Botanik. Schon im Jahre 1764 wurde ihm ein Preis für eine Arbeit über die beste Art der Straßenbeleuchtung zuerkannt. Im Alter von 25 Jahren war er bereits Mitglied der Akademie. Im Jahre 1776 stellte man ihn an die Spitze der Salpeterregie, und er verbesserte die Salpetergewinnung bedeutend. Die Regulierung des Maß- und Gewichtssystems, welche 1790 ins Werk gesetzt wurde, und der wir unsere heute gültigen Maße und Gewichte verdanken, geschah unter seiner direkten Beihilfe. „Kein Chemiker", schreibt Kopp — der die wertvollste Geschichte der Chemie verfaßt hat — „hat die Wissenschaft, wie sie ihm die Vorgänger vorgearbeitet hatten, mit einer so veredelten und ausgedehnten Richtung an seine Nachfolger überliefert als Lavoisier, und die Ansichten keines Chemikers der neueren Zeit haben solange unbestritten in der Wissenschaft geherrscht und sind größtenteils noch angenommen, wie die Lavoisiers." Aber seine großen Leistungen schützten Lavoisier nicht vor der Guillotine, auf der er 1794, wie so mancher, der damals im Mittelpunkte des politischen Lebens der französischen Revolution stand, endete.

311. Antoine Laurent Lavoisier.

Wir können nicht unterlassen, hier jenen Fundamentalversuch Lavoisiers, wie er jetzt zumeist dargestellt wird, wiederzugeben, der, in seiner Einfachheit leicht verständlich, die Grundlage der ganzen heutigen Chemie geworden ist. In der Retorte A, mit dem schließlich wieder aufwärts gebogenen Halse B, befindet sich Quecksilber. Der Hals der Retorte endigt in der aus der Abb. 312 ersichtlichen Art unter einer Glasglocke C, die durch Quecksilber, das sich im Gefäß D befindet, von der äußeren Luft abgesperrt ist. Erwärmt man jetzt mittels des Ofens E das Quecksilber in der Retorte A mehrere Tage lang bis fast zu seinem Siedepunkte, so verwandelt es sich zum Teil in sein Oxyd, d. h. also in seine Sauerstoffverbindung, und das abgesperrte Luftvolum vermindert sich während dieser Zeit. Dieses Stadium des Versuchs haben wir abgebildet; wir sehen, wie ein Teil des zur Absperrung der Glocke C dienenden Quecksilbers aus dem Gefäße D an die Stelle des verschwundenen Teils der Luft durch den äußeren Luftdruck in die Glocke C hineingedrückt worden ist. Wird jetzt

das Queckſilberoxyd weit ſtärker erhitzt, ſo zerfällt es wieder in ſeine Beſtandteile Queckſilber und Sauerſtoff, wie wir heute ſagen, und das urſprüngliche Luftvolum iſt wieder vorhanden. Daraus folgt, daß die Luft zum mindeſten aus zwei Beſtandteilen beſteht, nämlich einem, mit dem das Queckſilber ſich zu Oxyd vereinigt, und einem zweiten, mit dem es keine Verbindung eingeht. Auch entſprach die Gewichtszunahme des Queckſilberoxyds im Verhältnis zum Queckſilber, aus dem es entſtanden war, genau dem Gewichte des Quantums Luft, welches während des Prozeſſes ſcheinbar verſchwunden war. Hat man mittels dieſes Verſuchs der Luft den Sauerſtoff entzogen, ſo vermag in ihrem übriggebliebenen Beſtandteil nichts zu brennen, auch kein Tier mehr zu leben. In Bezug auf letztere Eigenſchaft gab man dieſem Rückſtand den Namen Stickſtoff. Erhitzt man anderſeits das Queckſilberoxyd für ſich ſehr ſtark, ſo erhält man durch Wiederzerfall dieſer Verbindung auch den zweiten Beſtandteil der Luft als ſolchen, in welchem alle Verbrennungen weit lebhafter als in der Luft vor ſich gehen, weil er jetzt nicht mehr durch Stickſtoff verdünnt iſt. In der Luft kommen, wie genaue Meſſungen ergeben haben, auf 78,$_{36}$ Teile Stickſtoff 20,$_{77}$ Teile Sauerſtoff; was noch an 100 Teilen fehlt, iſt hauptſächlich Waſſerdampf (Feuchtigkeit) und Kohlenſäure. Den die Verbrennung ermöglichenden Beſtandteil der Luft nannte Lavoiſier Oxygène, Sauerſtoff wie wir ſagen, weil er der irrigen Meinung war, daß ſich dieſer Beſtandteil, alſo der Sauerſtoff, in allen Säuren finden müſſe. Indem man, wie ſchon erwähnt, ſeit langem wußte, daß die Verkalkung von Metallen und die Verbrennung auf demſelben Vorgange beruhen, waren damit beide Prozeſſe klar gelegt. Beide beruhen alſo auf einer Vereinigung des Verbrennenden oder Verkalkenden mit dem Sauerſtoff der Luft.



312. Lavoiſiers Verſuch über die Zuſammenſetzung der Luft.

Den Umſchwung der Ideen, den dieſe Erkenntnis herbeiführte, können wir heute nur ſchwer noch ermeſſen. Wir wiſſen, daß man vor Lavoiſiers Zeit auf quantitatives Verfolgen der chemiſchen Verſuche zum Teil nicht viel gab. Man nahm nämlich an, die Wärme, welche jede Verbrennung begleitet, ſei etwas Wägbares, und ſchob alle Wägungsergebniſſe, die der Phlogiſtontheorie widerſprachen, auf deren Gewicht. Nachdem jedoch nunmehr entſchieden war, daß die Wärme, was das Gewicht anbetrifft, bei der Verbrennung keine Rolle ſpiele, daß ſie etwas Unwägbares ſei, mußten alle Gewichtsveränderungen auf den Austauſch materieller Stoffe zurückgeführt werden, und indem mit der Klarlegung des Verbrennungsprozeſſes zugleich die Wage zur unbedingten Kontrolle aller ernſten chemiſchen Arbeiten wird, wird dieſe die allſeitig bewunderte Wiſſenſchaft mit ihren abſolut zuverläſſigen Reſultaten. Der Feuereifer ihrer Jünger, denen, wie Lavoiſier, zum Teil eine erſtaunliche Begabung für ihr Fach von der Natur mitgegeben iſt, bringt ſie dann im Laufe nur eines Jahrhunderts auf ihre jetzige Höhe.

Indem man ſeitdem die Mengen der einzelnen Beſtandteile, welche zu chemiſchen Verbindungen zuſammentreten, miteinander verglich, fand man, daß dieſelben ſtets in feſten Verhältniſſen zu einander ſtehen, daß z. B. eine gewiſſe Menge Eiſen immer dieſelbe Menge Sauerſtoff an ſich zieht, um Eiſenoxyd zu bilden, und daß dieſe Menge Sauerſtoff ſtets wieder einer ſich immer gleich bleibenden Quantität Blei bedarf, um mit derſelben zu Bleioxyd zuſammenzutreten. Das Zahlenverhältnis, wie es ſich bei dieſen Eiſen- und Bleimengen findet, erwies ſich nun auch als feſtſtehend für alle ihre ſonſtigen Verbindungen; beiſpielsweiſe verbindet ſich eine gegebene Menge Chlor mit Eiſen oder Blei in genau denſelben Maßen, wie ſie die Sauerſtoffverbindungen zeigen, und die dahin gerichtete Unterſuchung der elementaren Körper, welche jetzt erſt, wie die Metalle, in ihrer Einfachheit erkannt worden

waren, führte zur Aufstellung jener wichtigen Verhältniszahlen, der Verbindungsgewichte, die zum mathematischen Fundament der ganzen Chemie wurden. Sie rief hervor und begründete zunächst eine ganz neue Lehre von den Elementen; die Atomtheorie fand Eingang in die Naturforschung. Bald entdeckte man auch, daß alle Stoffe nach jenen Zahlen sich zwar in verschiedener Weise, aber immer nur in einfachen Proportionen (1 : 2, 2 : 3, 1 : 3 u. s. w.) miteinander verbinden, und hierdurch wurde jene Theorie zur schärfsten Kontrolle für alle quantitativen Bestimmungen. Die Rückführung der chemischen Erscheinungen auf die Atome der Körper brachte diese Wissenschaft wieder in engere Beziehungen mit der Physik, und die Ergebnisse der einen fingen an, bestimmend auf die Untersuchungen der anderen einzuwirken.

Es konnte nicht ausbleiben, daß solche Erfolge auch auf die allgemeinen Kulturverhältnisse Einfluß erlangten. War schon seit der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die Naturwissenschaft als Bildungsmittel des menschlichen Geistes in lebhaften Kampf mit der rein formellen Richtung einer früheren Zeit getreten, die nur im Studium der alten Sprachen die geistige Ausbildung für möglich hielt, so entschied sich jetzt der Sieg zu gunsten der exakten Wissenschaften. Eine besondere Sanktion erhielt dieser Umschwung durch die französische Revolution, die das Unterrichtswesen in die Hände von Naturforschern vom Rufe eines Monge, Berthollet, Fourcroy u. s. w. legte.

318. Claude Louis Berthollet.

Die beiden Chemiker Fourcroy (geb. 1755, gest. 1809) und Berthollet (geb. 1748, gest. 1822) sind unter den gleichzeitigen Forschern für die Ausbreitung der Chemie und der Lavoisierschen Theorie von ganz wesentlichem Einfluß geworden, jener als Generaldirektor des öffentlichen Unterrichts, dieser dagegen hauptsächlich durch seine ausgezeichneten Experimentaluntersuchungen. Die Lehre von der chemischen Verwandtschaft gewann vorzüglich durch Berthollet an Bestimmtheit; was andere Forscher nach einzelnen Richtungen hin durch die Untersuchungen der quantitativen Zusammensetzung chemischer Verbindungen erobert hatten, das versuchte er in ein allgemeines Theorem zusammenzufassen.

Es waren von Lavoisier selbst schon quantitative Analysen ausgeführt worden, deren Genauigkeit uns in Anbetracht der ihm zu Gebote stehenden unvollkommenen Hilfsmittel in hohes Erstaunen versetzen muß; aber durch die analytischen Arbeiten eines Klaproth (geb. 1743, gest. 1817) und eines Vauquelin (geb. 1763, gest. 1829), zweier Analytiker ersten Ranges, wurde die Kenntnis der Zusammensetzung, namentlich der Mineralien, in einer Art vervollständigt, wie sie für die rasche Entwickelung der theoretischen Ansichten, die durch sie fortwährend neu bestätigt wurden, kaum zu hoffen gewesen war.

Diese Leistungen, zu denen noch die Forschungsergebnisse Prousts (1755—1826) hinzukommen, befähigten nun zwei deutsche Gelehrte, Karl Friedrich Wenzel (geb. 1740, gest. 1793) und Jeremias Benjamin Richter (gest. 1807 als Chemiker an der Porzellanfabrik zu Berlin), einen Zweig der Chemie auszubilden, zu welchem zwar einzelne unvollkommene Ideen, wie erwähnt, schon von früheren gegeben waren, ohne daß jedoch seine eigentliche Tragweite von den Chemikern jener Zeit bereits ganz bekannt war. Es ist dieses die Stöchiometrie, die Lehre von den Gewichtsmengen, in welchen die Bestandteile sich zu chemischen Verbindungen miteinander vereinigen. Aus den Schlußfolgerungen, welche durch die von Richter mit unsäglicher Mühe bestimmten stöchiometrischen Tabellen angeregt wurden, entsprangen wichtige Gesichtspunkte für die Bestimmung der Elemente, die Gruppierung der zusammengesetzten Stoffe und die Art ihrer Konstitution; insbesondere aber führten sie zur Entwickelung der neueren atomistischen Theorie, deren eigentliche Ausbildung dem englischen Forscher Dalton (geb. 1766, gest. 1844) zu unvergänglichem Ruhme gereicht.

314. Louis Jacques Thénard.

Mit diesen vorgezeichneten Hauptrichtungen, welche anfingen, sich aus der neueren Chemie herauszuarbeiten, waren nun für die nächste Zeit so großartige Arbeitsgebiete eröffnet, daß es uns nicht wunder nehmen darf, wenn wir neue Entdeckungen, in üppiger Weise fast einander drängend, gleichsam über Nacht aus dem Boden hervorschießen sehen. Gay-Lussac (geb. 1778, gest. 1850; Abb. Bd. II S. 438) und Humphry Davy (geb 1778, gest. 1829; Abb. Bd. II S. 555) begannen in den letzten Jahren des scheidenden Säkulums ihre Forschungen mit glänzendstem Erfolge, der erstere, als Physiker und Chemiker gleich ausgezeichnet, mit seinen Entdeckungen über die Natur der Gase, der andere, die Erscheinungen nicht minder allgemein erfassend, mit der Zerlegung chemischer Verbindungen durch den galvanischen Strom. Die Theorie der elektrochemischen Verwandtschaft, obwohl schon früher angedeutet, erhielt durch diese Arbeiten überzeugende Beweise, und der Davysche Satz, daß chemische Verwandtschaft oder Affinität und elektrische Erscheinungen auf gleicher Grundursache beruhen, erhob sich zu einem allgemein angenommenen Gesetz. Mit Hilfe der galvanischen Batterie gelang es Davy 1807, aus Pottasche ein Metall, das Kalium, und ebenso aus Soda das Natrium darzustellen und damit die Oxydnatur der Alkalien nachzuweisen. Ganz besonders wichtig für die chemischen Anschauungen wurden noch Davys Untersuchungen über das Chlor und seine richtige Erklärung der Salzsäure als einer Verbindung jenes Elementes mit Wasserstoff. Widersprach auch diese Darlegung den bis dahin üblichen Anschauungen, daß alle Säuren Sauerstoff enthalten sollten, so war die Davysche Beweisführung doch so klar und überzeugend, daß bald alle Chemiker, zuerst 1812 Gay-Lussac und Thénard (geb. 1777, gest. 1857), ihr beitraten. Überhaupt hatte auf die gemeinschaftlichen Arbeiten dieser beiden französischen Forscher die von Davy

angegebene Richtung einen bedeutenden Einfluß, wie ihrerseits wieder ihre Methoden zu den sichersten Prüfsteinen der neuen Ansichten wurden. Ganz besonders ist hervorzuheben, daß die Analyse organischer Verbindungen durch Gay-Lussac und Thénard eine neue Gestalt erhielt, indem diese lehrten, organische Körper mit Sauerstoff abgebenden Stoffen gemengt zu verbrennen und aus den erhaltenen Verbrennungsprodukten auf die Mengenverhältnisse, nach welchen die Elemente die organischen Körper zusammensetzen, sichere Schlüsse zu ziehen. Die organische Chemie fing jetzt an, sich ihrer älteren Schwester, der anorganischen Chemie, ebenbürtig zu zeigen, wenn sie auch erst später durch Liebig so erweitert wurde, daß sie dem Auge des Forschers eine unendliche Fülle neuer, auf strengster wissenschaftlicher Grundlage deutbarer Erscheinungen eröffnete.

Ein Name aber vor allen strahlt aus dieser Zeit größter Entdeckungen, welche die Geschichte der Chemie überhaupt aufzuweisen hat, mit unvergänglichem Glanze: **Berzelius**. Zu Wafnersunda in Ostgotland am 29. August 1779 geboren, ging Jakob Berzelius im Jahre 1796 an die Universität Upsala, um die Heilwissenschaft zu studieren; er beschäftigte sich indessen vorzugsweise mit Chemie und erlangte durch seine Arbeiten, von denen die erste eine Analyse der Mineralwässer von Medevi war (1800), sogleich einen ausgezeichneten Ruf. Infolgedessen ward er 1802 zum adjungierenden Professor der Chemie und Pharmazie an der medizinischen Schule zu Stockholm ernannt. Im Jahre 1807 wurde er wirklicher Professor und im folgenden Jahre Mitglied der Stockholmer Akademie, welche ihm seit 1810 eine jährliche Summe zur Unterstützung seiner wissenschaftlichen Arbeiten aussetzte und ihn zu ihrem Präsidenten wählte. Von dieser Zeit an verbreitete sich sein Ruhm auch im Auslande, dessen Gelehrten er durch öftere Reisen persönlich nahe trat.

315. Jakob Berzelius.

Akademien und gelehrte Gesellschaften ernannten ihn zu ihrem Ehrenmitglied, und zahlreiche Schüler strömten ihm zu, um in seinem Laboratorium ihre chemische Ausbildung zu vollenden. Der König von Schweden erhob ihn 1818 in den Adelstand und ernannte ihn 1835 zum Freiherrn. Hochbetagt starb, mit Erfolgen und Anerkennung gesegnet wie wenige, der große Forscher am 7. August 1848.

Die von Berzelius angestellten Untersuchungen zeichnen sich durch ihre vorsichtige Gewissenhaftigkeit aus. Abhold jeder frühzeitigen Hypothesenmacherei, suchte er immer zuerst die positiven Thatsachen in ihrem vollen Umfange zu erforschen, ehe er sich zu theoretischen Spekulationen verleiten ließ. In der analytischen Chemie war Berzelius der Erfinder vieler und sehr wichtiger Methoden, die zum Teil heute noch an Genauigkeit ihrer Resultate unübertroffen dastehen. Durch seine sorgfältigen Analysen hat er eine große Zahl neuer Verbindungen und bisher unbekannter Elemente teils entdeckt, teils zuerst dargestellt; so fand er 1803 das Cerium, 1818 das Selen, 1828 die Thorerde; das Silicium stellte er 1823, das Zirkonium und das Tantal 1824 zuerst dar.

Im Hinblick auf die Ausbildung einzelner Zweige der Chemie hat sich zu Anfang des Jahrhunderts in England Faraday (geb. 1791, gest. 1867) besonders um die Elektrochemie große Verdienste erworben. Dieser Forscher entdeckte auch das verschiedene physikalische Verhalten, welches Körper von gleicher chemischer Zusammensetzung zeigen können, und diese Entdeckung zusammen mit der von Mitscherlich (geb. 1794, gest. 1863), daß Körper von ungleicher aber analoger Zusammensetzung die gleiche Kryſtallform zeigen können (Isomorphismus), oder daß eine Verbindung in mehreren Kryſtallformen (Dimorphismus) auftreten kann, waren die Grundlagen, auf denen sich allmählich die physikalische Chemie aufbaute, die in den letzten 15 Jahren ungeahnt glänzende Erfolge erzielt hat.

Die Anwendung der im Anschluß an die Lavoisierschen Arbeiten erkannten großen Grundgesetze erstreckten sich noch längere Zeit nur auf die anorganische Chemie, die Chemie der toten Materie. Die ungeheure Kompliziertheit der organischen Welt schien selbst in ihren Anfangsgründen ein den Chemikern unentwirrbares Rätsel. Man glaubte noch allgemein, daß zwischen unorganischen und organischen Körpern eine Kluft liege, die zu überbrücken unmöglich sei, daß somit alle Erzeugnisse des Tier- und Pflanzenkörpers nur unter dem Einfluß der „Lebenskraft" entständen. So erklärte Berzelius noch 1827 die organische Chemie als „die Chemie der Pflanzen- und Tiersubstanzen oder derjenigen Körper, welche unter dem Einfluß der Lebenskraft gebildet werden". Da gelang es Wöhler (geb. 1800, gest. 1882) im Jahre 1828, einen Bestandteil des Harns, den Harnstoff, aus anorganischem Material im Laboratorium herzustellen. Hiermit verloren die organischen Körper den Nimbus ihrer Unantastbarkeit und war zum erstenmal positiv bewiesen, daß auch sie den gleichen Gesetzen wie die unorganischen Stoffe unterworfen sind.

Wöhlers größerer Zeitgenosse, Liebig (Abb. s. Bd. IV S. 17), nun ist, wie erwähnt einer von denen, die die Grundlagen der heutigen „organischen Chemie" geschaffen haben. Justus Liebig ward 1803 in Darmstadt geboren. Er zeigte von früh auf die größte Neigung für chemische Versuche. Eine Explosion, die in die Schule mitgebrachte Substanzen dort veranlaßten, beendigte seine Schülerlaufbahn, und aus gleichem Anlasse blieb er auch nicht lange in der Apotheke, in welcher ihn sein Vater untergebracht hatte. Er beginnt jetzt Chemie zu studieren, erst in Bonn, dann in Erlangen, wo er überall die Aufmerksamkeit seiner Lehrer erregt. Ein großherzogliches Stipendium ermöglicht ihm schließlich, seine Studien in Paris fortzusetzen. In Deutschland wurde damals die Chemie meist noch anhangsweise in den Vorlesungen über Physik gelehrt, eigentliche Laboratorien gab es kaum auf den Hochschulen. Wer sich in der Kunst des Experimentierens ausbilden wollte, war auf das Ausland angewiesen. Welch ein Unterschied gegen heute, wo kein Land der Welt es mit den vollendeten Einrichtungen der deutschen Universitätslaboratorien aufnehmen kann. Frankreich insbesondere konnte in den zwanziger Jahren als das Vaterland der Chemie gelten, denn in keinem Staate war die chemische Wissenschaft so tief in den allgemeinen Unterricht eingedrungen. Männer, wie die zum Teil schon genannten Gay-Lussac, Thénard, Biot, Dumas, Chevreul lehrten sie. Liebigs ausgezeichnete Arbeiten, die er in Paris durchführte, namentlich eine solche über das Knallsilber und Knallquecksilber lassen ihn 1824 bereits einen Ruf als außerordentlichen Professor der Chemie an der Universität Gießen erhalten, Ende 1825 wurde er dort sogar schon ordentlicher Professor.

Seine vorzüglichen Leistungen und Erfolge führten ihm bald Schüler aus der ganzen Welt zu. Er bringt die Analyse organischer Körper, fußend auf den früher erwähnten Arbeiten, zu einer in ihren Grundzügen auf eine bis heute nicht mehr übertroffene Höhe. Seine mit Wöhler zusammen ausgeführten Arbeiten über organische Säuren, namentlich die Benzoësäure, erweisen sich als so epochemachend, daß Berzelius sie als „die Morgenröte eines neuen Tages" begrüßt, und seine gleichfalls mit Wöhler zusammen durchgeführten Untersuchungen über die Natur der Harnsäure sind für die Entwickelung der Chemie und Physiologie von gleicher Bedeutung geworden. Die andauernde Beschäftigung zumeist mit Körpern, die dem Organismus der Pflanze entstammen, mußte seine Untersuchungen immer wieder auf den Organismus selbst hinlenken, in welchem

diese Körper gebildet werden. So wird er sich denn allmählich über die Bedingungen des Wachstums der Pflanzen völlig klar. Und es wird stets eine sehr merkwürdige Thatsache in der Geschichte der Menschheit bleiben, daß ein Chemiker erst das erkannt hat, was der Boden beim Pflanzenwuchs zu leisten hat, ein Chemiker, der selbst nie Landmann gewesen ist, den wahren Zusammenhang herausfand, obgleich doch Milliarden von Menschen vor ihm die Thätigkeit ihres ganzen Lebens dem Ackerbau gewidmet hatten.

Daß die Fruchtbarkeit des Ackers durch Zufuhr von Dünger erhöht werde, wußte man seit Urzeiten. Über die Art und Weise der Wirksamkeit des Düngers hatten sich jedoch die seltsamsten Vorstellungen ausgebildet. Indem Liebig jetzt scharf die Nahrung unterschied, welche die Pflanze der Atmosphäre und welche sie dem Boden entnimmt, gelangt er zur Überzeugung, daß es Zweck der Düngung sei, dem Boden die in den Ernten entführten Mineralbestandteile zu ersetzen, die wir als Asche beim Verbrennen der Pflanzen zu sehen bekommen. Die Richtigkeit dieser Anschauungen konnte nur der Versuch entscheiden. Diesen führte Liebig in folgender Art durch. Er erwarb von der Stadt Gießen einen Komplex sandigen Terrains mit kümmerlicher Flora, und hier düngte er nun den Boden mit auf rein chemischem Wege bereiteten mineralischen Düngemitteln. Wenige Jahre später zeigte der Landstrich, noch heute Liebighöhe genannt, bereits den üppigsten Pflanzenwuchs. Damit beginnt eine totale Umwälzung der Landwirtschaft. Indem sich bald die Industrie der künstlichen Düngemittel entwickelt, bleibt der Ackerbau nicht mehr ein nach ererbten aber unverstandenen Regeln geübtes Erfahrungsgewerbe, sondern ist nunmehr für alle Zeiten auf rationelle Grundsätze gestellt. Im Anschluß an die Untersuchung der Pflanzen beschäftigt er sich auch mit ihrer Verwertung zur Ernährung der Tiere. Die Untersuchung der Bestandteile des Fleisches brachte auch Klarheit in betreff des Wertes der Suppe, und unternehmende Männer veranlaßten diese Untersuchungen, auf seinen Vorschlag den Fleischreichtum überseeischer Länder wenigstens in Form von Fleischextrakt dem engbevölkerten Europa zur Verfügung zu stellen. Daneben war Liebig auch schriftstellerisch thätig. Die von ihm mitbegründeten Annalen der Chemie sind jetzt schon über den dreihundertsten Band hinausgelangt, kurzum Liebig war ein Mann von allseitigster Begabung, und seine Arbeiten haben sich zu einem dauernden Segen für die Menschheit gestaltet. Er starb zu München im Jahre 1873.

316. A. W. Hofmann.

Von den zahlreichen Chemikern dieses Jahrhunderts, die zum Teil so großes geleistet haben, daß ihr Name in der Geschichte unserer Wissenschaft nie vergessen werden kann, seien noch von Baeyer, Berthelot, Bunsen, Emil Fischer, Frankland, Fresenius, Graebe, Hofmann, vant'Hoff, Kekulé, Mendelejeff und Viktor Meyer genannt, und über zwei bereits verstorbene, nämlich Hofmann und Kekulé, sei Näheres mitgeteilt.

A. W. Hofmann ist der wissenschaftliche Begründer der farbenprächtigen Teerfarbenindustrie gewesen, aber nicht nur auf diesem, auch auf weit von ihr abliegenden Gebieten hat er Erstaunliches geleistet. Oft hat Hofmann zu seinen Schülern gesagt: „Die Epigonen haben keine Ahnung mehr davon, wieviel Mühe die Feststellung einfacher, jetzt beinahe sich von selbst verstehender chemischer Thatsachen gemacht hat.“ Wenn wir es heute auf manchem Gebiete der Chemie so bequem haben, verdanken wir es teilweise ihm, in höherem Maße allerdings noch, wie wir sehen werden, Kekulé. Als Hofmann in der zweiten Hälfte der dreißiger Jahre seine chemischen Studien zu Gießen begann, hatten Liebig und Dumas bereits Großes auf dem Gebiete der organischen Chemie geleistet. Theoretisch war noch die Berzeliussche Ansicht geltend, daß jede Art der Materie aus zwei Bestandteilen von elektrisch entgegengesetzten Eigenschaften bestehe, oder sich in diese zerlegen lasse, bis man zu den unzerlegbaren Elementen gelange. In dem systematischen Lehrgebäude, welches Berzelius auf dieser Grundlage aufgeführt hatte, hatten die Entdeckungen aller früheren Perioden ihre Stätte gefunden, und in seinem luftigen Fachwerk schien auch für die Beobachtungen kommender Geschlechter genügender Raum vorhanden. Aus Wöhlers Synthese des Harnstoffs hatte sich bereits das Walten gleicher Kräfte bei der Bildung mineralischer und organischer Körper ergeben, und Gay-Lussac hatte den Nachweis geführt, daß das Cyan, ein aus Kohlenstoff und Stickstoff bestehender Atomkomplex sich nach Art eines Elementes zu verhalten vermöge. Dies hatte den Weg gewiesen, wie die elektrochemische Theorie des Dualismus auch auf die organische Chemie auszudehnen sei. Es führte das zur Theorie der zusammengesetzten organischen Radikale. Aber weitere Untersuchungen, wie die Grahams über die Phosphorsäuren und Liebigs über mehrbasische organische Säuren, führten zu Resultaten, die sich nicht mehr in Einklang mit der dualistischen Theorie bringen ließen, und ernster Widerspruch gegen diese Theorie wurde zuerst in Frankreich erhoben. Die von Dumas, Laurent, Regnault und anderen beobachtete Thatsache, daß viele organische Verbindungen ohne wesentliche Änderung ihres chemischen Charakters Wasserstoff gegen Chlor, d. h. ein elektropositives gegen ein elektronegatives Element mehr oder weniger vollständig auszutauschen vermögen, war mit den elektrochemischen Lehren kaum mehr in Einklang zu bringen, doch genügte dieses Beweismaterial noch nicht zu ihrer endgültigen Erschütterung. Die Gay-Lussacschen Volumgesetze der Gase waren ebenso wie das Gesetz von Dulong und Petit über die spezifische Wärme der Elemente bereits bekannt, und Avogadro hatte schon 1811 seine Hypothese über den molekularen Zustand auch der elementaren Gase, auf welchen Vorstellungen unsere ganzen heutigen Anschauungen basieren, aufgestellt. Aber die eigentliche Bedeutung dieser Grundpfeiler unserer jetzigen Denkweise waren noch so wenig erfaßt, daß beim Studienbeginn Hofmanns immer noch darüber gestritten wurde, ob der Äther eine gleiche oder die doppelte Anzahl von Kohlenstoffatomen wie der Alkohol enthalte, eine Frage, über die sich heute jeder nach wenigen Semestern Chemiestudierens klar ist.

Die erste von Hofmann eingehender untersuchte organische Substanz ist nun die, die wir heute Anilin nennen. Ihren Namen hat die Substanz von der Bezeichnung der Indigopflanze als Indigofera Anil erhalten, und die Geschichte der Auffindung des Anilins ist folgende. Fritzsche, ein russischer Chemiker, hatte aus dem Indigo im Jahre 1830 eine Base erhalten, die er Anilin betitelte und von welcher er fand, daß sie die gleiche Zusammensetzung wie eine Base zeige, welche Zinin kurz vorher aus Nitrobenzol durch Einwirkung von Schwefelammonium auf dasselbe erhalten hatte, eine Reaktion, die damals sehr schwer verständlich war. Seine Base hatte Zinin Benzidam genannt. Das Nitrobenzol war einige Zeit vorher von Mitscherlich entdeckt worden.

Schon 1826 hatte auch Unverdorben beim Schmelzen von Indigo mit Ätzkali, welches Verfahren von dem Fritzsches abweicht, eine Base erhalten, aber nicht genauer untersucht, die er Kryställin genannt hat. Erdmann sprach zuerst die Vermutung aus, Anilin, Benzidam und Kryställin möchten identisch sein, und Hofmann erhielt von Liebig den Auftrag, diese Verhältnisse klarzulegen. Um diese Zeit war auch der Steinkohlenteer noch wenig erforscht, was bei der geringen Anzahl von Gasanstalten, die es damals gab, und bei der Schwierigkeit des Themas nicht sehr wunder nehmen kann. Nur der deutsche

Chemiker Runge hatte eine erwähnenswerte Arbeit über ihn geliefert und gefunden, daß man aus ihm basische und saure Bestandteile gewinnen könne. Von basischen Substanzen unterschied er das Pyrrol, das Kyanol und das Leukol, von sauren die Karbolsäure, Rosolsäure und Brunolsäure. Im Zustande chemischer Reinheit hat er keinen dieser Körper hergestellt. Hofmann zeigte dagegen im Laufe seiner Arbeit, daß das Kyanol Runges ebenfalls mit dem Anilin identisch sei. Er verwandelte erst den Indigo in das bereits bekannte Isatin, das sich dann glatt in Anilin überführen läßt. Ja als er Isatin chlorte und so Chlorisatin und Dichlorisatin erhielt, lieferten diese Chloranilin und Dichloranilin. Daß in wirklichen Basen der elektropositive Wasserstoff durch das elektronegative Chlor ersetzt werden kann, ohne sie sogleich ihres basischen Charakters zu berauben, war mit der elektrochemischen Theorie noch weit weniger vereinbar, als jene oben gegen dieselbe angeführten Thatsachen. Liebig begleitete deshalb die Veröffentlichung dieser Arbeit mit einer Note, in der er sagt: „Durch die Versuche Hofmanns scheine ihm der endgültige Beweis erbracht, daß der chemische Charakter einer Verbindung keineswegs, wie die elektrochemische Theorie voraussetzt, von der Natur der darin enthaltenen Elemente, sondern lediglich von ihrer Lagerungsweise bedingt sei." Dieses ist dann die allgemein gültige Anschauung geworden.

Bei seinen Arbeiten über den Steinkohlenteer schied Hofmann auch in den dreißiger Jahren zuerst aus diesem durch Destillation das Benzol ab. Aus ihm wird heute alles technisch zu verwertende Anilin hergestellt. Faraday hatte es bereits 1826 in den öligen Absätzen von aus Harzen bereitetem Leuchtgas gefunden, aber den Chemikern war es erst allgemein zugänglich geworden, als Mitscherlich es aus der überall käuflichen Benzoësäure zu gewinnen gelehrt hatte. Auf letzterem Wege hergestellt, war es natürlich eine recht kostbare Substanz. Hofmanns Schüler Mansfield hat dann später unter seiner Leitung die noch jetzt übliche Methode zur Gewinnung des Benzols aus dem Teer im großen ausgearbeitet, ist aber leider 1854 bei einer solchen Destillation verunglückt, indem er schweren Brandwunden erlag, die er erhielt, als die destillierende Flüssigkeit einmal überstieg und in Brand geriet.

Das Aufsehen, welches Anfang der vierziger Jahre bereits die Leistungen und Erfolge des Liebigschen Laboratoriums in der ganzen Welt erregten, ließen in England den Wunsch nach einem ähnlichen Institut rege werden und führten im Jahre 1835 zur Gründung des „Royal College of Chemistry", als dessen Leiter Hofmann berufen wurde. In diesem Institut, welches er zu hoher Blüte brachte, setzte er das Studium des Anilins, eifrig fort. Hier wurde er sich darüber klar, daß das Anilin als ein substituiertes Ammoniak, d. h. ein Ammoniak, in welchem ein Wasserstoffatom durch den Phenylrest vertreten ist, aufzufassen sei. So gut wie der Phenylrest, welcher sich vom Benzol ableitet, lassen sich unzählige andere Reste ins Ammoniak einführen, kurzum es war damit die endgültige Aufklärung dieser so wichtigen Körperklasse gegeben, und diese Anschauung erwies sich nach den verschiedensten Richtungen hin als höchst fruchtbringend für den Weiterausbau der organischen Chemie. Lange war es schon Hofmann aufgefallen, wie das auch Runge angegeben hatte, daß das Anilin viele Farbenreaktionen zeigt. Während er rein wissenschaftlich arbeitete, erhielt einer seiner Schüler Perkin 1856 bei einem Oxydationsversuche des Anilins einen technisch verwertbaren Farbstoff, der hernach Mauvein genannt wurde, dessen Herstellung im großen dieser sich sodann zuwandte. Hofmann beschäftigte sich in ähnlicher Richtung und fand sehr bald das Rosanilin, jenes bis auf den heutigen Tag beliebt gebliebene Rot. Wir wollen hier nun nicht weiter die große Anzahl sonstiger rein wissenschaftlicher Arbeiten Hofmanns aufzählen, sondern nur noch erwähnen, daß seine Begabung als Experimentator und als Lehrer außerordentlich befruchtend auf weite Kreise gewirkt hat. Mitte der sechziger Jahre erging wieder der Ruf des Vaterlands an ihn, indem ihm eine Professur in Bonn angetragen wurde, aber bevor er noch diese antrat, hat er 1865 den freigewordenen Lehrstuhl der Chemie in Berlin übernommen und hier bis zu seinem Tode im Jahre 1892 sich einen ruhmreichen Wirkungskreis geschaffen.

Hofmann hat auch im Jahre 1868 die „Deutsche chemische Gesellschaft" begründet, deren Berichte das verbreitetste wissenschaftliche Journal der Welt geworden sind. In seinem

Todesjahre betrug allein der Umfang wissenschaftlicher Originalarbeiten in ihnen ohne Register u. s. w. 3672 Seiten. Indem jetzt diese Gesellschaft auch die Herausgabe des chemischen Zentralblattes übernommen hat, eines Blattes, in welchem über alle chemischen Abhandlungen, wo und in welcher Sprache sie auch erscheinen mögen, referiert wird, und es ihren Mitgliedern zur Verfügung stellt, kommen diese nicht nur in den Besitz der bedeutendsten Originalarbeiten auf chemischem Gebiet, da auch Ausländer viel in den Berichten der deutschen chemischen Gesellschaft veröffentlichen, sondern haben stets in kürzester Frist auch Nachrichten über alles auf chemischem Gebiete Geleistete. So erfreuen sich die Chemiker der ganzen Welt im Anschluß an die Hofmannsche Gründung nunmehr einer Übersichtlichkeit ihrer Litteratur wenigstens in deutscher Sprache, um die sie alle anderen Wissenschaften beneiden müssen.

Wenden wir uns jetzt zu August Kekulé, so ist es schwer, dem Nichtchemiker mangels aller Vorkenntnisse eine Vorstellung von seinen Leistungen geben zu wollen. Wir werden sie im nächsten Abschnitt, der einen Allgemeinbegriff über die moderne Chemie geben wird, leichter darlegen können. Die klardurchdachten Anschauungen Kekulés haben ihn zu Theorien geführt, welche das Fundament der ganzen organischen Chemie bilden, und die wohl nie mehr werden umgestoßen werden. Es sind, wie hier kurz erwähnt sei, die Vorstellung von der Vierwertigkeit des Kohlenstoffatoms, sowie die Annahme der ringförmigen Bindung von Atomkomplexen. Kekulé wurde im Jahre 1829 geboren. Im Jahre 1854 erschien seine erste wissenschaftliche Arbeit über die Thiacetsäure, der einige weitere folgten, worauf schon 1858 seine Abhandlung „Über die Konstitution und die Metamorphose der chemischen Verbindungen und über die chemische Natur des Kohlenstoffs“ erschien, in der er zum erstenmal den Kohlenstoff als vierwertiges Element betrachtet. Von Heidelberg, wo er bis dahin lehrte, nach Gent berufen, trat er von dort aus im Jahre 1865 mit seiner zweiten Theorie hervor, die unter dem Titel „Untersuchungen über aromatische Verbindungen“ erschienen ist, und zeigte, daß in all den Verbindungen, die man unter diesem Namen zusammenfaßt, mindestens sechs Kohlenstoffatome vorhanden sind, die nach seiner epochemachenden Vorstellung unter sich nach Art eines Ringes zusammenhängen. Im Jahre 1867 nach Bonn berufen, hat er dort bis an sein Lebensende (1896) gewirkt.

317. August Kekulé.

Die Grundbegriffe der heutigen Chemie.

Wenn wir irgend einen Gegenstand, er sei, welcher er wolle, nach den Methoden der analytischen Chemie zerlegen, so kommen wir schließlich zu Spaltungsprodukten, welche allen weiteren Trennungsversuchen widerstehen; die so erhaltenen Bestandteile der Körper nennen wir Elemente. Man kennt jetzt etwa 70 von ihnen.

Da sie bei allen Arbeiten auf dem Gebiete der Chemie wiederkehren müssen, weil doch nun einmal alles aus ihnen besteht, hat man sich seit langem daran gewöhnt, ihre

Namen nicht erst auszuschreiben, weil schon für den täglich sich mit diesen Namen Beschäftigenden ihre Anfangsbuchstaben, etwa nach Art der Abkürzung der Vornamen bei den Menschen, zu ihrer Unterscheidung genügen. So schreibt man für Aluminium Al, für Brom Br. Da aber die Chemie nicht nur in Deutschland ausgebildet worden ist, sind die Abkürzungszeichen mancher Elemente ihrem internationalen Namen, der nicht mit dem deutschen übereinstimmt, entnommen worden, so schreiben wir O für Sauerstoff (Oxygenium), H für Wasserstoff (Hydrogenium), C für Kohle (Carbo). Besteht nun eine Verbindung aus Natrium und Brom, so brauchen wir nur NaBr zu schreiben, um das jedem Chemiker verständlich zu machen, und lassen wir auf diese Substanz z. B. Chlor einwirken, geben wir Chlor zu ihr zu, so drücken wir das durch ein + Zeichen aus. Was bei der Einwirkung entsteht, setzen wir hinter ein Gleichheitszeichen, so daß das Ganze die Form einer Gleichung annimmt, also z. B.

$$NaBr + Cl = NaCl + Br,$$

wenn Chlor auf Bromnatrium wirkt, so bilden sich, wie aus der Gleichung ersichtlich ist, Chlornatrium und Brom.

Nun braucht man natürlich sich nicht damit zu begnügen, nur festzustellen, daß Chlor auf Bromnatrium wirkt, sondern kann die „Reaktion" insofern weit gründlicher verfolgen, als man die Wage zu Hilfe nimmt und sieht, wie viel Chlor nötig ist, um eine bestimmte Menge Bromnatrium quantitativ also vollständig zu zerlegen. Man findet dann, daß von jedem Element stets ein ganz bestimmtes Gewicht nötig ist, um andere Elemente in quantitativer Weise zu verdrängen oder um sich mit ihnen quantitativ zu verbinden, bezw. man findet bei der Einwirkung auf ein anderes Element, daß das zweifache, dreifache, vierfache dieses Gewichts gebraucht wird, kommt also immer zu verhältnismäßig sehr einfachen Zahlen, nach denen die Elemente sich miteinander verbinden oder aufeinander wirken. Nun ist es möglich, wenn man alle Elemente ins Auge faßt und sieht, daß bei ihnen allen immer eine bestimmte Zahl wiederkehrt, aus diesen Zahlen das Gewicht ihrer Atome — so nennt man mit einem dem Griechischen entstammenden Worte die kleinsten Teile der Elemente — herzuleiten. Als Einheit wird das Atomgewicht des Wasserstoffgases, des leichtesten aller Körper, angenommen. Unter dieser Voraussetzung wiegt z. B. das Atom Eisen 56, das Atom Kupfer 63. Diese Zahlen sind nun absolut zuverlässig, ebenso zuverlässig, wie die unseres gebräuchlichen Gewichtssystems. Sagen wir z. B., ein Paket wiegt 107 g, so sagen wir damit, es ist 107 mal so schwer wie 1 g, was aber das Gramm wiegt, wissen wir so wenig, als was ein Wasserstoffatom wiegt, denn überall ist es nötig, eine Annahme als Grundlage zu machen, auf die sich das weitere bezieht, das zum Vergleich beim Wägen dient.

Man hat nun die Atomgewichte aller bekannten Elemente bestimmt, und wir lassen umstehend eine Tabelle folgen, welche die Namen aller Elemente nebst ihren abgekürzten Bezeichnungen und den Gewichten ihrer Atome enthält.

Während die kleinsten Teilchen der Elemente also als Atome bezeichnet werden, können die kleinsten Teilchen von zusammengesetzten Körpern nicht Atome benannt werden, weil sie doch aus einer Anhäufung mehrerer Atome bestehen. So setzt sich Kohlenoxydgas aus einem Atom Kohlenstoff und einem Atom Sauerstoff zusammen, also selbst das kleinste Teilchen dieses Gases besteht immer noch aus zwei Atomen. Wir bezeichnen deshalb die kleinsten Teilchen aller zusammengesetzten Substanzen mit einem anderen Worte, nämlich als Moleküle (vom lateinischen molecula abgeleitet).

Betrachtet man nun die ungeheure Anzahl chemischer Verbindungen, die es gibt, und ihr Verhalten, so findet man darunter gewisse einfache Vorkommnisse, die zur Erklärung auch der komplizierteren Erscheinungen dienen können. Trotz endloser Mühe z. B., die man sich gegeben hat, hat man nur je eine Verbindung zwischen Wasserstoff und Chlor, zwischen Wasserstoff und Brom u. s. w. herzustellen vermocht, und so kann man schließen, daß es in der That nur eine solche zwischen diesen Elementen gibt. Die Atome dieser Elemente sättigen mit anderen Worten in diesen Verbindungen die Kraft, mit welcher sie sich gegenseitig aneinander zu ketten vermögen, völlig ab. Ein Atom eines dieser

Name	Zeichen	Atomgewicht	Name	Zeichen	Atomgewicht	Name	Zeichen	Atomgewicht
Aluminium . .	Al	27,04	Jod	I	127	Ruthenium . .	Ru	103,5
Antimon . . .	Sb	119,6	Kadmium . .	Cd	111,7	Sauerstoff . .	O	16
Argon	Ar		Kalium . . .	K	39,1	Scandium . .	Sc	44
Arsen	As	74,9	Kobalt . . .	Co	58,6	Schwefel. . .	S	32
Barium . . .	Ba	137	Kohlenstoff . .	C	12	Selen. . . .	Se	79
Beryllium . .	Be	9,1	Krypton . . .			Silber . . .	Ag	107,66
Blei	Pb	207	Kupfer . . .	Cu	63,6	Silicium. . .	Si	28
Bor	B	10,94	Lanthan. . .	La	139	Stickstoff. . .	N	14
Brom	Br	80	Lithium . . .	Li	7	Strontium . .	Sr	87,3
Calcium . . .	Ca	40	Magnesium. .	Mg	24	Tantal . . .	Ta	182
Cäsium . . .	Cs	133	Mangan. . .	Mn	55	Tellur . . .	Te	126
Cerium . . .	Ce	141,2	Metargon . .			Thallium . .	Tl	204
Chlor	Cl	35,5	Molybdän . .	Mo	96	Thorium . .	Th	231,9
Chrom	Cr	52,45	Natrium. . .	Na	23	Titan. . . .	Ti	50,25
Didym . . .	Di	145	Neon			Uran	U	239,8
Eisen	Fe	56	Nickel. . . .	Ni	58,6	Vanadin. . .	V	51,3
Erbium . . .	E	166	Niobium. . .	Nb	94	Wasserstoff . .	H	1
Fluor	F	19	Osmium. . .	Os	190,3	Wismut . . .	Bi	207,5
Gallium . . .	Ga	69,9	Palladium . .	Pd	105,5	Wolfram. . .	W	184
Germanium . .	Ge	72,32	Phosphor . .	P	31	Ytterbium . .	Yt	173,01
Gold	Au	196,2	Platin . . .	Pt	194,3	Yttrium . . .	Y	89,6
Helium . . .	He		Quecksilber . .	Hg	200	Zink	Zn	65
Indium . . .	In	113,4	Rhodium . .	Rh	102,7	Zinn	Sn	117,35
Iridium . . .	Ir	192,5	Rubidium . .	Rb	85,4	Zirkonium . .	Zr	90

Elemente vermag hiernach also immer nur eines des anderen festzuhalten, diese Elemente müssen wir daher als „einwertig“ ansehen. Es sind das hauptsächlich der Wasserstoff, das Chlor, das Brom, das Jod. Betrachten wir aber jetzt einmal die nachstehende Tabelle:

I.	II.	III.
Chlorwasserstoff HCl, Bromwasserstoff HBr, Jodwasserstoff HJ.	Wasser H_2O, Schwefelwasserstoff H_2S, Quecksilberchlorid Cl_2Hg, Quecksilberbromid Br_2Hg, Quecksilberjodid J_2Hg.	Ammoniak H_3N, Phosphorwasserstoff H_3P, Antimonchlorid Cl_3Sb, Wismutchlorid Cl_3Bi.
IV.	**V.**	**VI.**
Sumpfgas H_4C, Chlorkohlenstoff Cl_4C, Chlorsilicium Cl_4Si, Chlorzinn Cl_4Sn.	Phosphorchlorid Cl_5P, Tantalchlorid Cl_5Ta.	Wolframchlorid Cl_6W.

Im Abschnitt I sehen wir nur einwertige Elemente. Im Abschnitt II dagegen sehen wir, wie z. B. O also Sauerstoff zwei Atome Wasserstoff festhält, im Abschnitt III finden wir das Ammoniak, in welchem N, also Stickstoff, drei Atome Wasserstoff festhält. Danach ist der Sauerstoff zweiwertig, der Stickstoff dreiwertig. Es ist nun das epochemachende Verdienst Kekulés gezeigt zu haben, daß auch, wenn man die Unsumme der Kohlenstoffverbindungen, die es gibt, auf die gasförmige Verbindung CH_4, die Methan genannt wird, zurückführt, alle organischen Verbindungen sich in dieses System einreihen lassen, indem der Kohlenstoff als vierwertiges Element erscheint. Wir hatten oben eine chemische Gleichung nur als zur Wiedergabe der qualitativen Vorgänge geeignet angesehen. In Wirklichkeit bietet sie viel mehr, wenn man in den Abkürzungen nun nicht nur das Element, sondern Atome der Elemente mit ihren festgestellten Atomgewichten sich geschrieben denkt, wie das die Chemiker thun. NaBr bedeutet dann, daß im Bromnatrium auf 23 Gewichtsteile Natrium 80 Gewichtsteile Brom kommen. Wie man das zu quantitativen Berechnungen aller Art verwerten kann, werden wir weiterhin im Buche einmal darlegen.

Bevor wir das Wichtigste über die Kohlenstoffverbindungen mitteilen, seien noch die so oft gebrauchten Ausdrücke: Säuren, Basen und Salze erörtert. Ursprünglich nannte man Säuren Flüssigkeiten, welche sauer schmecken, wie z. B den Essig, und laugenhaft

schmeckende Substanzen hießen Basen oder Alkalien, diese beiden letzteren Ausdrücke sind heutzutage völlig gleichbedeutend. Natürlich kann man nicht alles schmecken, und man hat denn sehr früh schon ein weit empfindlicheres Mittel, als es die menschliche Zunge ist, zur Unterscheidung herangezogen. Es gibt nämlich Pflanzenfarben, z. B. den Lackmusfarbstoff, die durch die geringsten Spuren Säuren und Alkalien beeinflußt werden. Säuren machen den genannten z. B. rot, Alkalien blau. So ist die Unterscheidung dieser beiden Klassen von Körpern auf diesem Wege eine sehr leichte, indem man z. B. mit Lackmuslösung befeuchtete Papierstreifen in sie eintaucht. Weit wichtiger als diese rein äußerliche Eigenschaft ist aber für die Chemiker, daß sich Säuren und Basen miteinander zu neuen Körpern vereinigen, die man Salze nennt. Hierbei tritt stets aus beiden Komponenten ein Molekül Wasser aus, z. B.

$$\underset{\text{Essig (Säure)}}{CH_3\cdot COOH} + \underset{\text{Ätznatron (Base)}}{NaOH} = \underset{\text{essigsaures Natron (Salz)}}{CH_3\cdot COONa} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O}.$$

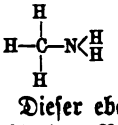
Säuren und Basen sättigen sich gegeneinander, wie man sagt. Bei der Unsumme von Säuren und Basen, die es gibt, gibt es daher in chemischer Beziehung eine Unsumme von Salzen. Sowohl Säuren wie Basen können feste, flüssige, auch gasförmige Körper sein. So ist Kieselsäure (Sand) eine feste Masse und sie ist chemisch als Säure aufzufassen, weil sie sich mit der Base Kali zu einem Salz, zum kieselsauren Kali vereinigt. Schwefelsäure ist eine flüssige Säure, und Kohlensäure ist gasförmig. Der Ätzkalk (gebrannte Kalk) ist eine feste Base, Anilin eine flüssige und Ammoniak eine gasförmige Base. Letzteres Gas hat zufällig die Eigenschaft, sich leicht im Wasser zu lösen, und wird deshalb in der bequemen Form der wässerigen Lösung in den Handel gebracht, wodurch man zu dem Glauben verleitet werden kann, Ammoniak sei eine Flüssigkeit.

Das fortwährende Durcheinander der Bezeichnung Kohlenstoffchemie oder organische Chemie, das wir bei den Chemikern finden, rührt daher, daß es nichts Organisches gibt, das nicht Kohlenstoff enthält, so daß diese beiden Begriffe für sie so gut wie identisch sind.

Man versinnbildlicht heutzutage die Wertigkeit der Elemente durch Striche, und so erhält man folgende vier Schemata:

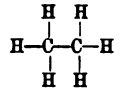
Salzsäure (einwertige Elemente)	Wasser (O zweiwertig) (H einwertig)	Ammoniak (N dreiwertig) (H einwertig)	Methan (C vierwertig) (H einwertig).

Was den Kohlenstoff nun weiter vor allen anderen Elementen auszeichnet und weshalb er allein im stande ist, zum Aufbau jener komplizierten Gebilde zu dienen, die unser Leben ermöglichen, ist, daß sich seine einzelnen Atome untereinander verketten können, und weiter, daß die an ihm hängenden Wasserstoffatome, welche unser Schema zeigt, durch andere Atome oder Atomkomplexe beliebig vertreten werden können, und zwar so, daß für einwertiges einwertiges, für zweiwertiges zweiwertiges u. s. w. eintritt. Stickstoff ist z. B. dreiwertig, folglich kann er an die Stelle von drei Wasserstoffatomen im Methan treten, das führt zur Formel $N\equiv C-H$ oder abgekürzt NCH geschrieben. Dieser Körper ist sehr wohl gekannt, er ist die so furchtbar giftige Blausäure. Atomkomplexe aber können in folgender Weise an die Stelle der Wasserstoffatome treten. Denken wir uns z. B. im Ammoniak NH_3 ein Wasserstoffatom fort, so bleibt NH_2 übrig, es ist das ein an und für sich nicht existenzfähiger Atomkomplex, ein Rest, wie man sagt. Derselbe ist einwertig, denn ihm fehlt doch ein H, folglich kann er z. B. an die Stelle eines H im Methan treten, das liefert dann den Körper

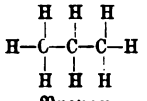


oder abgekürzt $CH_3\cdot NH_2$ geschrieben. Dieser ebenfalls sehr wohlbekannte Körper führt anknüpfend an seine Ausgangsbestandteile den Namen Methylamin. Denken wir uns im Methan ein Wasserstoffatom fort, so bleibt doch der an sich nicht existenzfähige Rest CH_3

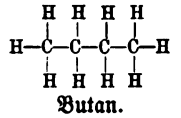
übrig, der also den Namen Methyl führt. Da er einwertig ist, und sich Kohlenstoffatome in fast beliebig langen Reihen miteinander verketten können, so erhalten wir, wenn er mit einem zweiten gleichen Rest zusammentritt, das Dimethyl, welches für gewöhnlich Äthan



genannt wird; eine weitere Wiederholung dieser Prozedur der Aneinanderkettung führt zum Propan und Butan.

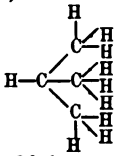


Propan



Butan.

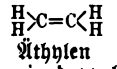
Beim Butan zeigt sich nun wieder etwas Neues. Eine genaue Betrachtung der Formel zeigt, daß im Butan die Bindung der Atome untereinander eine andere sein kann, ohne daß die Vierwertigkeit des Kohlenstoffs oder Einwertigkeit des Wasserstoffs dadurch irgendwie berührt wird, nämlich



Isobutan

folglich gibt es zwei Körper von der Summenformel C_4H_{10}. Solche Körper, die aus der gleichen Anzahl derselben Atome bestehen und doch verschieden sind, nennt man isomer.

Außer mit einfacher, können sich Kohlenstoffatome auch mit zweifacher und dreifacher Bindung gegenseitig festhalten, und denken wir uns die anderen Wertigkeiten wiederum durch Wasserstoff gesättigt, so führt das zu folgenden einfachsten Gliedern solcher Reihen, deren Strukturformel wir sogleich mit ihrem Namen unterzeichnen wollen

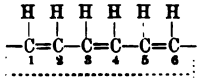


Äthylen
(Kohlenstoffatome in doppelter Bindung)

Acetylen
(Kohlenstoffatome in dreifacher Bindung).

Wir sagen, daß das Ausgangsglieder ganzer Reihen sind: es können nämlich auch hier wieder andere Atome und beliebige Atomkomplexe an die Stelle der Wasserstoffatome treten.

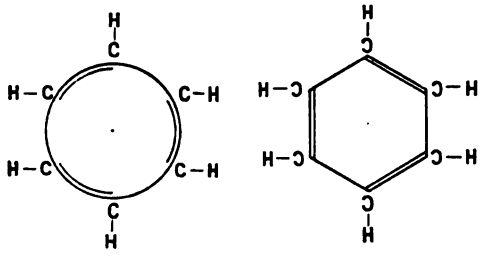
Ein großer Teil organischer Körper zeichnet sich weiter dadurch aus, daß bei fast allen Umwandlungen, denen man ihn unterwirft, immer wieder Körper mit mindestens sechs Kohlenstoffatomen erhalten werden. Sie alle lassen sich auf den Kohlenwasserstoff C_6H_6 zurückführen, und diesen mit der Vierwertigkeit des Kohlenstoffatoms in Einklang zu bringen, ist wahrlich nicht leicht gewesen. Wir finden Vorstellungen zu diesem Zweck entwickelt, die fast ans Abenteuerliche grenzen, bis Kekulés geniale Idee (s. den Schluß des vorigen Abschnitts) diese Frage endgültig und in befriedigendster Weise löste. Denken wir uns sechs Kohlenstoffatome abwechselnd mit einer oder zwei Wertigkeiten miteinander verbunden, und an jedem Kohlenstoffatom ein Wasserstoffatom, so führt das zu folgendem Schema



In ihm sind die Kohlenstoffatome 2 3 4 5 vierwertig, während an den Kohlenstoffatomen 1 und 6 noch je eine Wertigkeit ungesättigt ist. Denkt man sich diese beiden Wertigkeiten im Sinne der gestrichelten Linie zwischen diesen beiden Kohlenstoffatomen gegenseitig ausgeglichen, so werden alle Kohlenstoffatome vierwertig, und die Wasserstoffatome, wie es die Untersuchung der Derivate dieses Kohlenwasserstoffs verlangt, auf die sechs Kohlenstoffatome gleichmäßig verteilt sein. Die Anordnung der Kohlenstoffatome ist also eine ringförmige, wie wir sehen, wenn wir uns die Figur jetzt gleichmäßig vorstellen.

Da das Zeichnen ringförmiger Figuren unbequem ist, hat Kekulé an seiner Statt das Sechseckschema eingeführt, dem wir aus diesem Grunde so viel in allen Lehrbüchern der organischen Chemie begegnen.

Bei der außerordentlichen Wichtigkeit dieser Verhältnisse, auf denen alle organische, technisch ausgenutzte Chemie basiert, werden wir bei Besprechung der Anilinfarbenindustrie nochmals auf sie ausführlich zurückkommen und diese Anschauungen dort zum Teil von anderen Gesichtspunkten ausgehend entwickeln. Durch diese teilweise Wiederholung wird es uns hoffentlich gelingen, diese Verhältnisse auch Fernerstehenden klarzulegen, und die kurze Wiederholung möge uns in Rücksicht auf die Wichtigkeit des Themas in diesem Ausnahmefalle gestattet sein.



318. Lagerung der Kohlenstoffatome und Wasserstoffatome im Benzol.

Wir wollen unsere gedrängte Übersicht hier nicht schließen, ohne auch noch des Systems der Elemente von Mendelejeff (s. S. 318) gedacht zu haben. Ordnet man alle Elemente zufolge dem genannten Forscher hintereinander nach ihren Atomgewichtszahlen, so findet man, daß das auf das siebente folgende achte Glied der Reihe immer mit dem ersten eine besondere Ähnlichkeit hat, was schon Newlands vor ihm bemerkte und diesen von einem Gesetze der Oktaven zu sprechen veranlaßt hatte. Im Hinblick auf nachstehende von Mendelejeff in der vorliegenden Form geschaffene Tabelle hat dieser dann sein „periodisches System der Elemente" geschaffen, und er bezeichnet als periodisches Gesetz die gegenseitigen Verhältnisse der Eigenschaften der Elemente zu deren Atomgewichten, welche auf alle Elemente anwendbar sind. Diese Verhältnisse besitzen die Form einer periodischen Funktion.

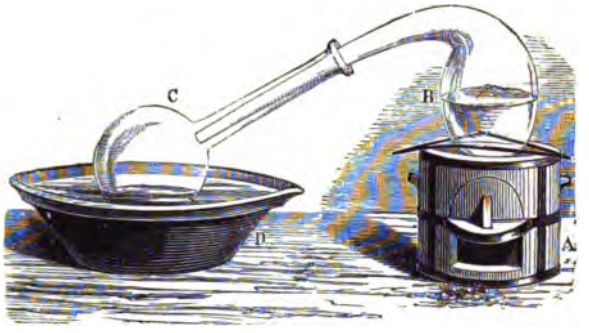
Man kann das auch in der Form ausdrücken: die Eigenschaften der Elemente und folglich auch der aus ihnen gebildeten einfachen und zusammengesetzten Körper befinden sich in periodischer Abhängigkeit von deren Atomgewichten. Dem Wasserstoffgas kommt eine Ausnahmestellung zu. Betrachten wir die beiden folgenden Reihen, so verändert sich in ihnen der Charakter der Elemente regelmäßig und allmählich mit wachsender Größe der Atomgewichte und zwar periodisch, d. h. in beiden Reihen auf gleiche Art, so daß die entsprechenden Glieder Analoge sind: Na (Natrium) und Li (Lithium), Mg (Magnesium) und Be (Beryllium), C (Kohlenstoff) und Si (Silicium) u. s. w. Die entsprechenden Glieder beider Reihen geben gleiche Reihen von Verbindungen,. besitzen also gleiche Wertigkeit. Wir sehen die Sauerstoffverbindungen vom Typus RO ansteigen bis RO_4 bezw. R_2O_8 und die Wasserstoffverbindungen von RH_4 absteigen bis RH u. s. w. Mendelejeff hat seine zuerst im Jahre 1869 aufgestellte Tabelle sogleich benutzt, um aus bekannten auf unbekannte, in der Tabelle noch fehlende Elemente zu schließen, und solche dann, um unbekannten Elementen keine Namen beizulegen, durch Vorsilben wie Eka, dwi (sanskritische Zahlwörter) von den von ihm für analog gehaltenen Elementen unterschieden; so hat er speziell die Eigenschaften des Ekaaluminiums angegeben. Als dann 1875 Lecoq ein neues Element, von ihm Gallium genannt, entdeckte, erkannte es Mendelejeff aus dessen ungefähren Angaben, die aus Mangel an Material anfangs ungenau waren, als sein hypothetisches Ekaaluminium und vindizierte ihm, ohne es je gesehen zu haben, sofort die richtigen Eigenschaften. Er gab sein Atomgewicht zu etwa 68 an, sein Chlorid werde die Formel $GaCl_3$ haben, es werde aus 39 % Gallium und 61 % Chlor bestehen u. s. w. Dies alles bestätigte sich nachher vollständig. Derartige Vorausbestimmungen der Eigenschaften von unbekannten, erst zu findenden Elementen sind wohl nicht weniger merkwürdig, als die Vorausberechnung der Existenz eines unbekannten Planeten, des hernach aufgefundenen Neptun, durch die Störungen, welche seine Masse in der Bahn eines bereits bekannten, nämlich des Uranus, verursachte, die der Astronom Leverrier 1846 durchführte.

Tabelle des Systems der Elemente nach Mendelejeff.

Allgemeine Formel der a) Wasserstoffverbindungen b) höchsten Salze bildenden Oxyde	Gruppe I R_2O	Gruppe II RO	Gruppe III R_2O_3	Gruppe IV RH_4 RO_2	Gruppe V RH_3 R_2O_5	Gruppe VI RH_2 RO_3	Gruppe VII RH R_2O_7	Gruppe VIII RO_4
Reihe 1	H = 1							
„ 2	Li = 7	Be = 9,1	B = 10,94	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
„ 3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27,04	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	
„ 4	K = 39,1	Ca = 40	Sc = 44	Ti = 50,25	V = 51,3	Cr = 52,45	Mn = 55	Fe = 56 Co = 58,6 Ni = 58,6
„ 5	Cu = 63,6	Zn = 65	Ga = 69,9	Ge = 72,32	As = 74,9	Se = 79	Br = 80	
„ 6	Rb = 85,4	Sr = 87,3	Y = 89,6	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96		Ru = 103,5 Rh = 102,7 Pd = 106,5
„ 7	Ag = 107,66	Cd = 111,7	In = 113,4	Sn = 117,35	Sb = 119,6	Te = 126	I = 127	
„ 8	Cs = 133	Ba = 137	La = 139	Ce = 141,2	Di = 145			
„ 9				Er = 166				
„ 10			Yt = 173,01		Ta = 182	W = 184		Os = 190,3 Ir = 192,5 Pt = 194,3
„ 11	Au = 196,2	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 207,5			
„ 12				Th = 231,9		U = 240		

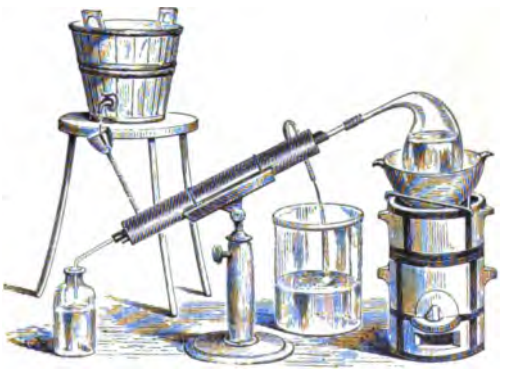
Die wichtigsten Methoden des chemischen Arbeitens.

Wenn wir hier die wichtigsten Methoden des chemischen Arbeitens kurz besprechen, so geschieht es aus dem Grunde, weil das Verhältnis zwischen den Arbeiten in Laboratorien zu wissenschaftlichen Zwecken und denen der Großindustrie sich jetzt bereits so gestaltet hat, daß letztere sich bestrebt, all das, was im Laboratorium mit kleinen Mengen ausführbar ist, sobald es Interesse für sie bietet, auch im großen durchzuführen. Dies ist oft außerordentlich schwierig, weil in Laboratorien die kleinen Quantitäten, um die es sich dort handelt, sich fast stets in Glas- und Porzellan-, Silber- und Platingefäßen verarbeiten lassen, die so ziemlich allen Säuren, Alkalien u. s. w. sowie hohen Temperaturen widerstehen. Diese Arten von Gefäßen sind aber einmal in einer für Fabrikzwecke ausreichenden Größe nicht zu beschaffen und zweitens, was Glas und Porzellan anbetrifft, meist zu zerbrechlich. Die Industrie kann, wie sich aus sich selbst ergibt, in der Hauptsache nur unzerbrechliche Apparate brauchen, die in den komplizierten Formen, die sich als notwendig herausstellen, fast nur aus Metallen hergestellt werden können. Metalle sind aber wiederum vielen Chemikalien gegenüber nicht besonders widerstandsfähig, werden von ihnen zerstört. Kurzum man kann sagen, heutzutage ist es Aufgabe der chemischen Industrie, die dies Problem in immer vollkommnerer Weise löst, das im Laboratorium erreichte technisch Wertvolle in die Praxis zu übertragen unter Beschaffung der nötigen Gefäße und Apparate, und gleichzeitiger Sicherung der Arbeiter gegen die mit den Manipulationen verbundenen Gefahren (Schutz gegen giftige Gase u. s. w.), welchen die Chemiker in wissenschaftlichen Laboratorien leicht begegnen.



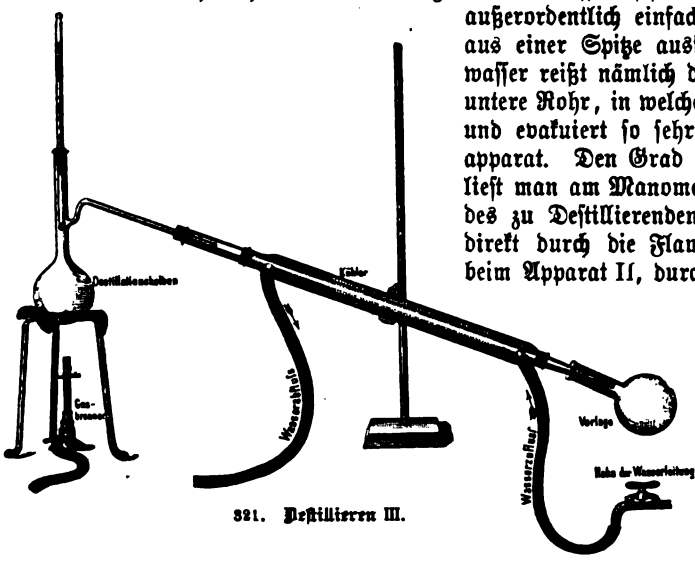
319. Destillieren I.

Beginnen wir mit dem Destillieren. Da sehen wir auf dem ersten Bilde einen mit Kohlen zu heizenden Ofen A, auf dem eine Retorte B steht, deren Hals direkt in die Vorlage C hineinragt, während diese selbst in kaltem Wasser D liegt. Doch ist es oft nötig, die bei der Destillation übergehenden Dämpfe weit stärker zu kühlen, als es diese Art der Kühlung bewirkt. So sehen wir im zweiten Destillationsapparat einen besonderen Wasserkühler nebst der Art der Wasserzuführung vor der Zeit der Wasserleitungen angebracht, während die dritte Abbildung uns die jetzige Art der Destillation zeigt. Retorten sind nicht mehr sehr beliebt; an ihre Stelle sind Rundkolben mit seitlich angeschmolzenem Rohr getreten, die ein weit bequemeres Füllen und Befestigen von Thermometern, die die Temperatur der übergehenden Dämpfe anzeigen, gestatten. Außerdem ist der Ofen jetzt durch einen einfachen Gasbrenner ersetzt, und um das innere Kühlrohr läuft ununterbrochen das von der Wasserleitung gespendete Wasser. Auch wird jetzt in den Laboratorien sehr viel im luftverdünnten, ja im fast oder im ganz luftleeren Raume destilliert. Dazu dient etwa ein Apparat, wie er umstehend abgebildet ist. Das zu Destillierende kommt in den Kolben A, welcher mit dem Kolben B, der als Vorlage dient und durch



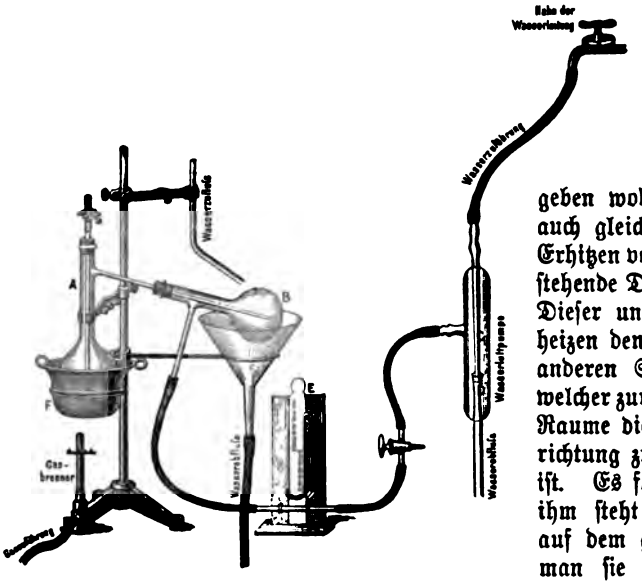
320. Destillieren II.

ausfließendes Wasser gekühlt wird, luftdicht verbunden ist. Er seinerseits befindet sich mittels eines Schlauches in Verbindung mit der Wasserluftpumpe C, deren Konstruktion außerordentlich einfach ist. Das in ihr bei D aus einer Spitze ausfließende Wasserleitungswasser reißt nämlich die Luft mit in das enge untere Rohr, in welches diese Spitze hineinragt, und evakuiert so sehr rasch den Destillationsapparat. Den Grad der Verdünnung in ihm liest man am Manometer E ab. Das Erhitzen des zu Destillierenden erfolgt hier nicht mehr direkt durch die Flamme, sondern, wie schon beim Apparat II, durch das Bad F, in welches der Destillationskolben eingetaucht ist, da es ein gleichmäßigeres Erhitzen sichert.

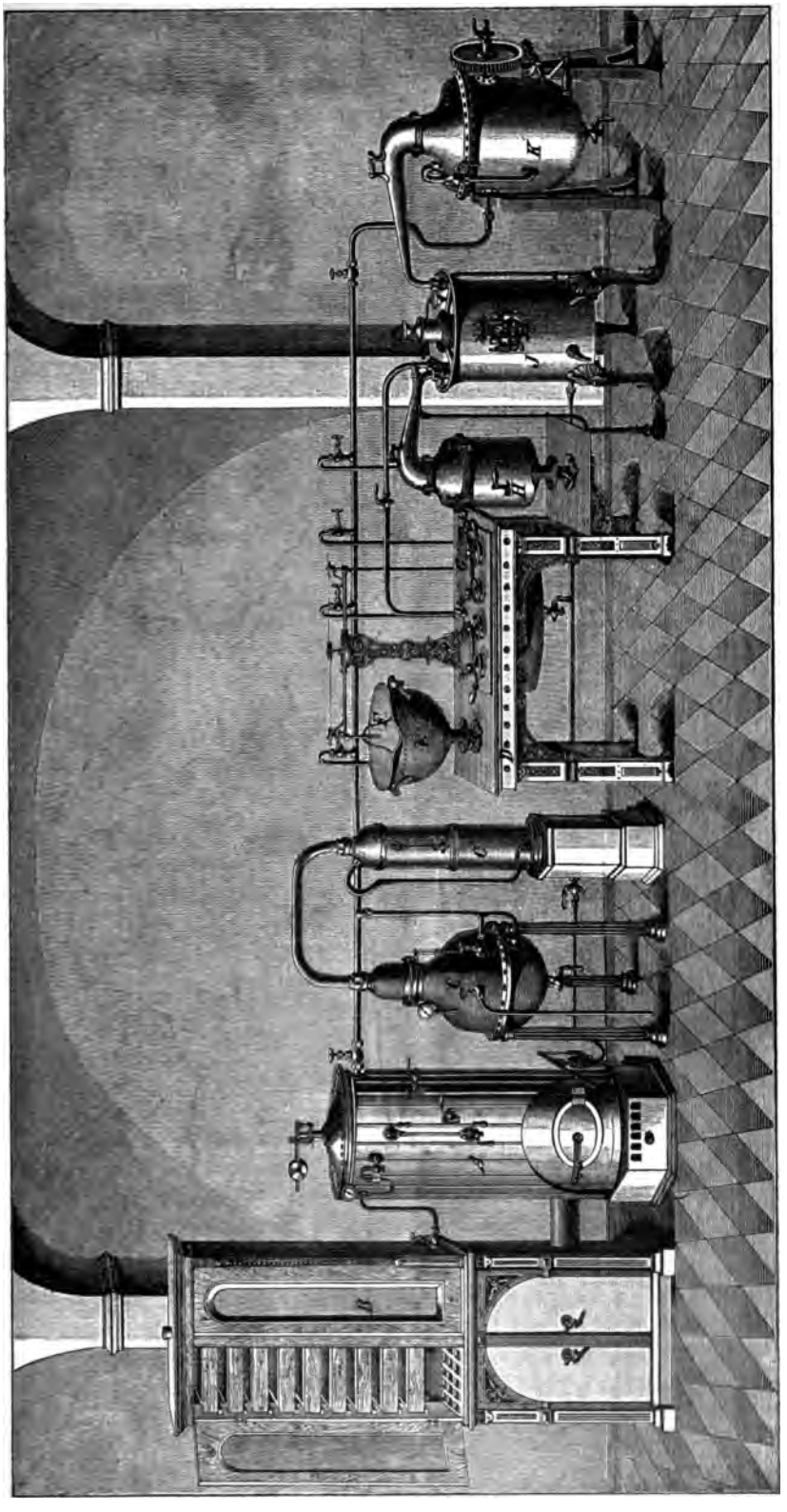


321. Destillieren III.

Nun destilliert man auch, statt mit direktem Feuer oder aus Bädern, mit Wasserdampf, ja man destilliert öfters so, daß man den Dampf, der, wenn nötig, noch durch Durchleiten durch ein glühendes Rohr überhitzt wird, direkt in die zu destillierende Flüssigkeit leitet. Für größere Laboratorien werden jetzt für alle derartigen Destillationen mit Wasserdampf ganz ausgezeichnete Apparate geliefert, von denen wir die Einrichtung, wie sie z. B. von Wilhelm Bitter in Bielefeld ausgeführt wird, hier wiedergeben wollen. Der Dampf dient dann auch gleichzeitig im Laboratorium zum Erhitzen von Trockenschränken u. s. w. Der stehende Dampfkessel A liefert den Dampf. Dieser und seine abziehenden Feuergase heizen den Trockenschrank B. Auf seiner anderen Seite steht der Apparat CC', welcher zur Destillation im luftverdünnten Raume dient, indem er mit einer Vorrichtung zu seiner Evakuierung versehen ist. Es folgt der eiserne Tisch D. Auf ihm steht der doppelwandige Kessel E, auf dem große Porzellanschalen, indem man sie auf ihn setzt, erhitzt werden können. Um ihn auch für kleinere Schalen verwendbar zu machen, ist ein Satz messingener, auf ihn passender Ringe vorhanden. Im Tisch befindet sich ferner ein Dampfbad mit Vertiefungen, in welche kleinere Kessel eingesetzt werden können. Die Rührvorrichtung F, die wir über dem großen Kessel E zum Mischen des Inhalts der Porzellanschalen angebracht sehen, kann auch durch Umstellung für diese kleineren Kessel Verwendung finden. Der Kessel G im Tische ist für die Herstellung heißen Wassers bestimmt. An den Tisch schließt sich weiter ein Destillationsapparat für gewöhnlichen Luftdruck. Das zu Destillierende kann entweder dadurch erhitzt werden, daß man Dampf zwischen die



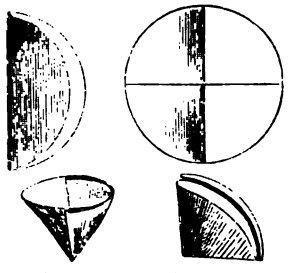
322. Destillieren IV.



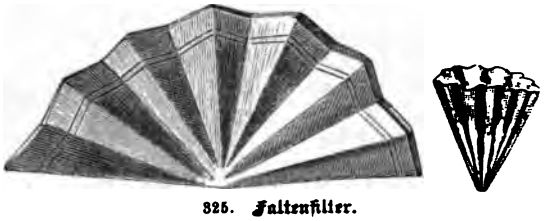
323. Destillationsapparat unter Benutzung von Wasserdampf.

Doppelwand der Destillierblase H treten läßt, oder der Dampf kann hier auch direkt in das zu Destillierende geleitet werden. Im Kühlfaß I liegen zwei Kühlschlangen. Die zweite steht in Verbindung mit der etwas größeren Destillierblase K, die die gleichen Heizvorrichtungen wie H hat, ihrer Größe halber aber so auf eisernen Lagerböcken montiert ist, daß sich ihre Entleerung mittels angebrachter Radvorrichtung leicht ausführen läßt.

Die Kryſtalliſation. Während die Destillation den Zweck hat, die Körper durch Überführen in den gasförmigen Zustand und nachheriges Wiederabkühlen im Kühler zu reinigen, z. B. von allen nicht flüchtigen Beimengungen zu trennen, dient die Kryſtalliſation zum Reinigen fester Substanzen. Viele Produkte sind nämlich in heißen Lösungsmitteln



324. Anfertigung der glatten Filter.



325. Faltenfilter.

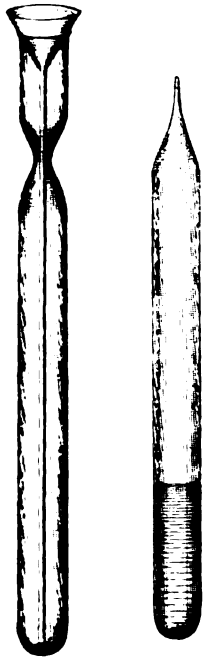
weit löslicher, als in kalten. Sättigt man also z. B. eine siedende Lösung von schwefelsaurem Natron mit diesem Salz und läßt sie hernach erkalten, so wird sich ein großer Teil des in der Hitze gelöst gewesenen schwefelsauren Natrons wieder ausscheiden, aber nicht etwa als amorphes Pulver, sondern in Form von Kryſtallen. Die Natur hat nämlich den Körpern nicht allein eine bestimmte chemische Zusammensetzung, sondern auch eine bestimmte Gestalt, in der sie kryſtallisieren, gegeben. Dazu kommt noch folgendes. Wenn Körper aus einer Lösung auskryſtallisieren, so scheiden sie sich möglichst rein aus, indem neben ihnen gelöste geringe Mengen anderer Substanzen in der Flüssigkeit oder, wie man sagt, in der Mutterlauge bleiben. Man nennt nämlich jede Flüssigkeit, aus der etwas auskryſtallisiert ist, Mutterlauge. Durch mehrmaliges Umkryſtallisieren, d. h. also wiederholtes Auflösen und Auskryſtallisieren lassen, kann man schließlich jede kryſtallisierbare Substanz in den Zustand völliger chemischer Reinheit und Lauterkeit überführen. Dies ist die zumeist vorkommende Art der Reinigung durch Kryſtalliſation, wir werden im Buche aber noch einige Abarten der Methode kennen lernen.

326. Gerippter Trichter.

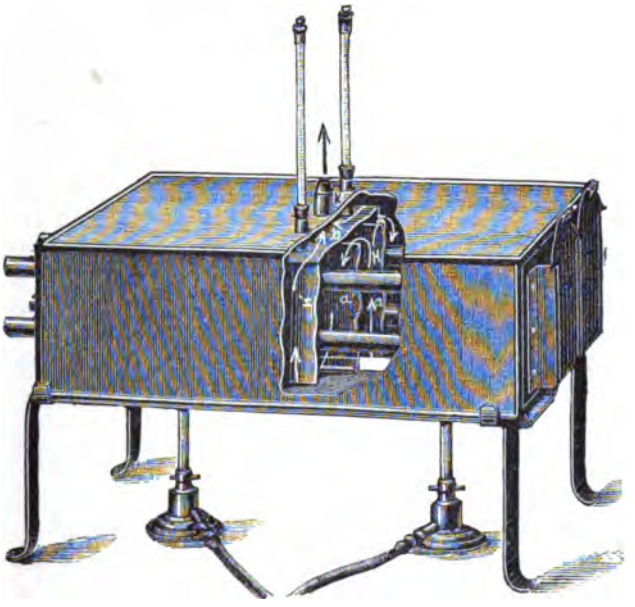
327. Filtration bei vermindertem Luftdruck.

Hat man Substanzen aufgelöst, so kann man durch Filtration sie auch von allem dem Ausgangsmaterial anhaftenden Unlöslichen befreien, indem dieses auf dem Filter liegen bleibt, durch das man die Lösung hindurchfließen läßt. Dazu dient im Laboratorium das Filtrierpapier, welches in der durch die Abb. 324 u. 325 veranschaulichten Weise aus runden Papierscheiben entweder so hergestellt wird, daß es hernach glatt am Glastrichter anliegt, oder welches in bestimmter Weise aus dem Papier gefaltet und zu einem trichterförmigen Sacke zusammengebrochen wird. Hierdurch wird die filtrierende Oberfläche bedeutend vergrößert, indem jetzt nur die Kanten der Brüche am Glastrichter anliegen, daß die Filtration weit rascher verläuft. Da das Falten eine ziemlich mühselige Arbeit ist, hat man jetzt Glastrichter angefertigt, die ihrerseits innen gerippt sind, so daß das glatt

hineingelegte Filter nur an dieſen Rippen anliegt, alſo auf dem umgekehrten weit bequemeren Wege den Zweck des ehemaligen Faltens erreicht. Die Filtration größerer Mengen von Flüſſigkeiten, für die Glastrichter nicht ausreichen, erfolgt durch Durchgießen durch Tücher, die in Rahmen aufgeſpannt werden. Im Laboratorium beſchleunigt man jetzt jede Filtration, wenn ſich die Flüſſigkeiten dazu eignen, dadurch, daß man die Trichter luftdicht auf eine ſtarkwandige Flaſche aufſetzt und mit einer Waſſerluftpumpe dieſe letztere evakuiert. Sogleich beginnt ein ſehr ſchnelles Filtrieren, indem nunmehr der äußere Luftdruck die Flüſſigkeit durch die Poren des Filtrierpapiers in die Flaſche, aus der die Luft ausgepumpt wird, drückt. In der Technik bedient man ſich wohl auch dieſes Verfahrens, weit mehr aber eines auf dem umgekehrten Prinzip beruhenden. Dort preßt man nämlich die Flüſſigkeiten nebſt den in ihnen ſchwimmenden feſten Beſtandteilen durch zwiſchen Rahmen ausgeſpannte Filtriertücher hindurch, wobei man bis auf 20 Atmoſphären Überdruck geht, während bei erſterem Verfahren nur eine Atmoſphäre Minderdruck



328. Einſchlußröhren.

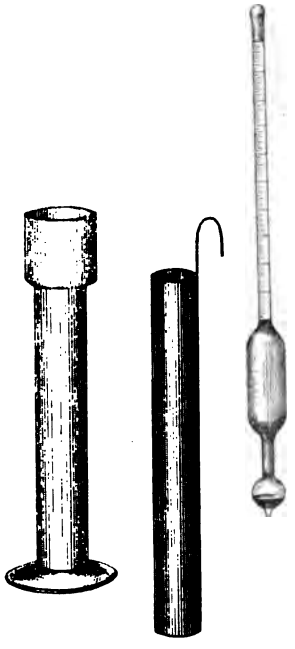


329. Ofen zum Erhitzen von Einſchlußröhren.

zur Verfügung ſteht. Wir werden dieſen Filterpreſſen, ſo werden die Apparate genannt, in manchen Induſtriezweigen begegnen, und bei deren Beſprechung das Nähere über ſie mitteilen.

Eine ſehr merkwürdige Art des Hantierens im Laboratorium, nämlich das Arbeiten mit Einſchlußröhren, iſt erſt durch die Anilinfarbeninduſtrie auch in der Technik nötig geworden. Es handelt ſich dabei um folgendes. Häufig iſt es nötig, Subſtanzen aufeinander bei hohem Druck und hoher Temperatur einwirken zu laſſen. Im Laboratorium verfährt man für den Zweck in der Art, daß man ſie in ein Glasrohr gibt, dieſes ſodann zuſchmilzt und in einem geeigneten Ofen erhitzt. Die Röhren liegen hier in eiſernen Umhüllungsröhren, und falls ſie explodieren, ſchlägt das Glas ohne jede Gefahr für den Experimentator gegen die Wand, der gegenüber ſie aufgeſtellt ſind. Sind derartige Glasröhren gut zugeſchmolzen, ſo halten ſie einen Druck bis zu 120 Atmoſphären aus. Ihr Wiederöffnen nach beendeter Reaktion hat ſtets auf das vorſichtigſte zu erfolgen, weil häufig in ihnen ſich Gaſe gebildet haben, die auch nach dem Erkalten einen ſehr hohen Druck im Rohre veranlaſſen, in welchem ſie eingeſperrt ſind. Man bemüht ſich jetzt, Einrichtungen

zu treffen, die das Platzen der Einschlußröhren überhaupt unmöglich machen, indem man das sie umgebende Eisenrohr vollkommen dicht verschraubt, nachdem man z. B. ein wenig Äther in dasselbe gegeben hat. Während des Erhitzens erzeugt dann der Äther einen so hohen Druck im Eisenrohr, daß der Druck in dem innerhalb dieses Eisenrohres befindlichen Glasrohr etwa der gleiche innerhalb wie außerhalb desselben ist, so daß das Glasrohr nicht platzt. Was aber geschieht, wenn statt dessen jetzt das Eisen- bezw. Stahlrohr infolge des furchtbaren, in ihm herrschenden Druckes inmitten eines Laboratoriums explodiert, hat noch niemand glücklicherweise zu konstatieren Gelegenheit gehabt, indem diese Versuche der neuesten Zeit angehören. Da nun die Herstellung vieler Stoffe im großen nur auf gleichem Wege, wie er hierfür im Laboratorium üblich ist, erfolgen kann, ist man dort auf die Konstruktion der metallenen Autoklaven verfallen, denen wir also in der Anilinfarbenindustrie wieder begegnen werden. Sie müssen nicht bloß explosionssicher sein, sondern auch Säuren aller Art bei hoher Temperatur widerstehen. Dort ist die Aufgabe der Herstellung derartiger Apparate als völlig gelöst zu betrachten, und es sind trotz der jetzt so zahlreichen Verwendungen von Autoklaven in Fabriken kaum jemals Unglücksfälle durch sie verursacht worden.



330. Aräometer.

Was die Feuerungsanlagen anbetrifft, so sind die der Technik völlig von denen der Laboratorien verschieden, indem in den Laboratorien fast nur noch Gas zur Verwendung gelangt, welches mit Hilfe der verschiedenartigsten Brenner und Öfen allen Zwecken derselben dienstbar gemacht wird. Für den Großbetrieb ist natürlich Leuchtgas bei weitem zu teuer, nur einige Anilinfabriken verwenden es in ausgedehntem Maße zu Heizungszwecken, und von den in der technischen Chemie verwendeten Feuerungsanlagen werden wir später eine ganze Anzahl zu besprechen haben, weil ihre Kenntnis zum Verständnis der betreffenden Prozesse sich als notwendig erweisen wird.

Auf weitere Methoden des chemischen Arbeitens wollen wir hier nicht eingehen, sie werden sich weiterhin im Buche kürzer und darum für uns geeigneter im Anschluß an anderweitige Mitteilungen bringen lassen. Nur müssen wir noch eine physikalische Methode, nämlich eine Methode zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten anreihen.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichts einer Flüssigkeit ist eine in der chemischen Industrie sehr oft auszuführende Aufgabe. Will man z. B. irgend eine ein Salz enthaltende Lösung bis zu einer bestimmten Konzentration eindampfen, so wird man die Erreichung dieses Punktes am besten aus ihrem spezifischen Gewicht erkennen, was in folgender höchst einfacher Weise ausführbar ist. Je spezifisch schwerer die Flüssigkeit ist, um so weniger tief wird ein in sie gebrachter Schwimmer eintauchen. Dem Schwimmer gibt man die Form der Senkspindel, die man auch Aräometer nennt. Dadurch, daß in die untere Kugel Quecksilber oder Bleischrot gegeben ist, hält sie sich gerade. Im Laboratorium gibt man die Flüssigkeit, deren spezifisches Gewicht bestimmt werden soll, weil man oft mit wenig von ihr auskommen muß, in einen engen Cylinder, der oben einen erweiterten Kopf hat, um die Zahlen der Senkspindel genau ablesen zu können; in der Praxis benutzt man eine unten geschlossene Metallröhre mit Handgriff und liest auch hier an dem mit einer Teilung versehenen Aräometer direkt das spezifische Gewicht, sagen wir z. B. 1,032, ab. Da derartige Zahlen bei Arbeiten leicht zu Irrtümern Veranlassung geben, wendet man in der Technik andere Einteilungen an, bei denen man mit einfacheren Zahlen auskommt. In Deutschland pflegt man nach Baumégraden zu rechnen, die der Genannte zu Anfang vorigen Jahrhunderts auf die Art feststellte, daß er an einer Senkspindel den Nullpunkt durch Eintauchen in reines Wasser bestimmte, und sie sodann in fünfzehnprozentiger Kochsalzlösung schwimmen ließ. Die Differenz zwischen

dem ersten und dem jetzigen Eintauchungspunkte teilte er in fünfzehn Teile, deren jeder nunmehr einen Grad Baumé repräsentiert. So findet man, daß die Handelsschwefelsäure, die das spezifische Gewicht 1,84 hat, 66° B zeigt, was also dasselbe bedeutet. Für Arbeiter ist jene letztere Zahl sicher weit bequemer. Wie sich spezifisches Gewicht und Baumégrade zu einander verhalten, ersehen wir aus folgender kurzen Tabelle.

Grade nach Baumé	= Spezifisches Gewicht	Grade nach Baumé	= Spezifisches Gewicht	Grade nach Baumé	= Spezifisches Gewicht
1	1,0070	30	1,2632	53	1,5880
5	1,0360	35	1,3211	56	1,6370
10	1,0746	40	1,3846	59	1,6950
15	1,1163	45	1,4545	62	1,7580
20	1,1613	48	1,5000	66	1,8470
25	1,2101	50	1,5819	70	1,9460

Das Kalkbrennen.

Mörtel und Zement.

Die ältesten erhalten gebliebenen Bauten bestehen aus Mauern, die durch Übereinandertürmen von Steinen gebildet sind. Kein Bindemittel ist verwendet, um diese zusammenzuhalten, und man bezeichnet die in Europa von ihnen vorhandenen Überreste als pelasgischen Ursprungs nach dem Volke der Pelasger, welches vor den Hellenen Griechenland bewohnt haben soll. Zur Herstellung von Mörtel, mit dem man die einzelnen Steine der Bauten verkittet, bedarf man des gebrannten Kalkes, und so alt die Erfindung des Kalkbrennens auch ist, fallen doch jene wenigen übrig gebliebenen pelasgischen Reste noch vor diese Zeit.

Das Material, aus dem der gebrannte Kalk hergestellt wird, ist der Kalkstein, chemisch als kohlensaurer Kalk zu bezeichnen, welcher zu den in der Natur weit verbreiteten Körpern gehört. Das Nähere über sein Vorkommen und seine Abarten finden wir S. 31 f.

Der Vorgang, der sich bei seinem Brennen abspielt, ist in chemischer Beziehung mit unseren jetzigen Kenntnissen leicht erklärt. Er zerfällt unter dem Einfluß der Hitze in die Bestandteile Kalk und Kohlensäure:

$$\underset{\text{Kohlensaurer Kalk}}{CaCO_3} = \underset{\text{Kalk}}{CaO} + \underset{\text{Kohlensäure}}{CO_2}.$$

Die Öfen, welche zum Brennen des Kalksteins dienen, finden wir ebenfalls bereits S. 39 f. beschrieben.

Nur müssen wir hier in Rücksicht auf die chemische Industrie erwähnen, daß die Chlorkalkfabrikanten die größten Ansprüche an die Reinheit und Gleichmäßigkeit des gebrannten Kalks stellen. Sie können für ihre Zwecke nur einen möglichst reinen Kalkstein verwenden, der also fast frei von allen Verunreinigungen ist, damit der Chlorkalk später rein weiß aussieht, und brennen ihn in Flammöfen. Abbildungen solcher finden wir weiterhin im Buche in der Industrie der Soda u. s. w.

Außer dem gebrannten Kalk liefert ein Kalkofen natürlich sehr reichlich Kohlensäure, einmal diejenige Menge, die in ihm aus den Kalksteinen, also dem kohlensauren Kalk, ausgetrieben wird, und zweitens diejenige, welche die zu Kohlensäure verbrennende Kohle des Feuerungsmaterials erzeugt. Seit zwanzig Jahren etwa dienen daher die Kalköfen in einigen Industrien, die wir später kennen zu lernen Gelegenheit haben werden, als Kohlensäurequelle.

Der gebrannte Kalk, wie er aus dem Ofen gekommen und erkaltet ist, sieht nicht viel verschieden vom Kalkstein aus. Er stellt eine durchaus harte Masse dar, und obgleich er durch das Brennen an 40 Prozent seines Gewichtes in Form von Kohlensäure verloren hat, hat sich sein Volumen nicht viel vermindert, und muß er daher jetzt ziemlich porös sein. Er zeigt nun das so bekannte höchst merkwürdige Verhalten zum Wasser.

Während andere Gegenstände, wenn man Wasser auf sie gießt, abgekühlt werden, tritt bei ihm der entgegengesetzte Erfolg ein. Er erhitzt sich mit dem hinaufgegossenen Wasser außerordentlich stark, so daß, wenn man seine Menge passend gewählt hat, die Hitze Holz zu verkohlen, sogar Schießpulver zu entzünden vermag.

Aus diesem Grunde soll man größere Kalkmengen niemals in der Nähe leicht Feuer fangender Gebäude lagern, da ein Regenguß z. B. einen Brand herbeiführen kann. Der Grund dieses von anderen Körpern so abweichenden Verhaltens liegt nun darin, daß der gebrannte Kalk sich mit dem Wasser chemisch verbindet. Daß bei der gewöhnlichen mit Feuererscheinung verbundenen Verbrennung, also der Vereinigung von Kohlenstoff mit Sauerstoff zu Kohlensäure, sehr viel Wärme unter gleichzeitiger Feuererscheinung entwickelt wird, auf welcher ja alles Heizen beruht, fällt uns durch die tägliche Gewohnheit nicht auf, und doch beruhen beide Vorgänge auf der gleichen Ursache, nämlich auf dem chemischen Vereinigungsbestreben von Substanzen.

Der gebrannte Kalk ist chemisch das Oxyd des Metalls Calcium, welches Metall als solches im Laboratorium dargestellt werden kann, aber technisch nicht verwertbar ist. Kommt Wasser an dieses Oxyd, also an den gebrannten Kalk, so vereinigt es sich mit ihm zu Calciumhydroxyd

Kalk + Wasser = Calciumhydroxyd
$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$.

Das Übergießen des gebrannten Kalkes mit Wasser wird das Löschen desselben benannt. Gibt man ein passend gewähltes Quantum von letzterem hinzu, so findet starkes Aufkochen unter heftiger Dampfentwickelung statt, und aus dem flachen Holzkasten, in welchem diese Operation gewöhnlich vorgenommen wird, läßt man das halbflüssige Gemisch in eine Grube laufen, die sich allmählich mit der milchweißen Masse von Butterkonsistenz, dem Kalkbrei, angefüllt. Geradezu in Wasser löslich ist das Kalkhydrat in geringem Maße. Schüttelt man aber Wasser mit Kalkbrei, so sättigt sich dieses natürlich mit Calciumhydroxyd, und wenn man filtriert, so erhält man jetzt das Kalkwasser, welches nur in der Medizin eine beschränkte Anwendung findet.

In chemischer Beziehung erweist sich der Kalkbrei als stark alkalisch, d. h. er zeigt das Bestreben, sich mit Säuren zu Salzen (s. S. 314) zu vereinigen. So überzieht sich das Kalkwasser beim Stehen an der Luft sehr bald mit einer weißen Haut, welche aus kohlensaurem Kalk besteht, indem der Kalk die Kohlensäure der Luft anzieht. Ja der Kalk ist das stärkste Alkali, das wir überhaupt kennen, und so werden wir ihm in der Industrie der Alkalien noch häufig begegnen, indem sich diese seine starke Alkalität zu nutze macht.

Seine Hauptverwendung findet er aber bekanntlich zur Herstellung des Mörtels und zwar zum größten Teil zur Herstellung des Luftmörtels. In weit geringerer Menge wird er für Wassermörtel (Zement) verbraucht. Über die Technik der Herstellung des Luftmörtels und des Zements finden wir wiederum das Nähere S. 44 f.; hier wollen wir uns deshalb mehr mit den chemischen Vorgängen, auf denen ihre Verwendung beruht, beschäftigen.

Der Luftmörtel wird doch so erhalten, daß man den Kalkbrei mit Sand mischt, von dem man bis zu seinem vierfachen Volumen zugeben kann. Man bereitet stets nur so viel von ihm, wie in kurzer Zeit verbraucht werden soll, da das Gemisch sonst erhärtet und verdirbt. Den weichen Brei bringt man zwischen die Steine des Mauerwerks. Schon nach einigen Tagen zeigt er eine gewisse Festigkeit, die im Laufe der Zeit bedeutend zunimmt. Zu Anfang wirkt er wahrscheinlich nur ähnlich einem Kitt, indem er nach Art eines solchen oder des Leims die Adhäsionswirkung zwischen den Steinen erhöht. Sehr bald macht sich jedoch der Einfluß der Kohlensäure der Luft geltend. Nachdem nämlich der Brei zwischen den Steinen ein wenig abgetrocknet ist, bildet er infolge des zugesetzten Sandes eine poröse Masse, welche von der Luft leicht durchdrungen werden kann. Ihr Kohlensäuregehalt führt nunmehr den Kalk wieder in kohlensauren Kalk über. Dieser letztere mit dem Sande zusammen bildet dann den fest haltenden Mörtel. Dabei muß, wie die Überlegung lehrt, das durch die Kohlensäure der Luft in kohlensauren Kalk

zurückverwandelte Calciumhydroxyd des Mörtels sein chemisch gebundenes Wasser wieder hergeben:

Calciumhydroxyd (gelöschter Kalk)	+	Kohlensäure aus der Luft	=	Kohlensaurer Kalk	+	Wasser
$Ca(OH)_2$	+	CO_2	=	$CaCO_3$	+	HO_2

und daraus erklärt sich, daß, so lange nicht aller Kalk in den Wänden in kohlensauren Kalk übergegangen ist, die Wände immer wieder feucht werden. Das Heizen solcher Räume an sich kann also das Austrocknen nicht bewirken. Nur wenn man zugleich für eine reichliche Entwickelung von Kohlensäure sorgt, also möglichst schnell allen gelöschten Kalk in der Wand wieder in kohlensauren Kalk verwandelt, wird man Erfolg erzielen. Dieses ist der Grund, weshalb man in den Neubauten offen brennende Kokskörbe aufstellt. Sie liefern durch das Verbrennen von Kohle viel Kohlensäure, und die von ihnen gleichzeitig gelieferte Wärme sorgt dafür, daß das durch die Kohlensäure in der Wand frei werdende Wasser rasch verdunstet.

Beim Abbrechen Jahrhunderte alten Mauerwerks sehen wir öfters eher die Ziegel zerbrechen, als daß sie sich an den Mörtelfugen loslösen ließen. So ist hier also der Mörtel fester geworden als die Mauersteine. Dies soll seinen Grund darin haben, daß im Laufe der Zeit schließlich der Sand, welcher, chemisch bezeichnet, Kieselsäure ist, mit dem Kalk anfängt sich zu kieselsaurem Kalk zu vereinigen, eine Verbindung, die dann die außerordentliche Festigkeit des Mörtels bedingt.

Der aus gelöschtem Kalk und Sand hergestellte Mörtel vermag also nur an der Luft zu erhärten, deren Kohlensäuregehalt für diesen Zweck ein unerläßliches Erfordernis ist. Nun befindet man sich aber häufig in der Notwendigkeit Wasserbauten ausführen zu müssen. Der für diese erforderliche Mörtel wird hydraulischer Mörtel oder Zement genannt. Man erhält denselben auf dem Wege, daß man Kalkstein mit Thon gemischt brennt. Der beim Brennen aus dem Kalkstein sich bildende Kalk wirkt hierbei auf den Thon, welcher chemisch kieselsaures Aluminiumoxyd ist, ein. Wird die gebrannte Masse hernach mit Wasser angerührt, so bilden sich sehr rasch kieselsaurer Kalk und Calciumaluminat, welches letztere eine Verbindung von Aluminiumoxyd mit Kalk ist. Diese beiden Verbindungen erhärten sehr schnell zu festen Massen. Da sie bei der Einwirkung des Wassers auf das gebrannte Gemisch entstehen, so daß die Kohlensäure der Luft zu ihrer Bildung gar nicht nötig ist, wird diese Art von Mörtel also auch unter Wasser fest. Die fabrikmäßige Herstellung ist S. 49 f. beschrieben.

Alkalien und Säuren.

Wir haben im Vorangehenden die Gewinnung des gebrannten Kalkes kennen gelernt. Er ist, wie dort erwähnt, das stärkste Alkali oder die stärkste Base, was ja dasselbe ist (s. S. 326), die es gibt. In der eigentlichen chemischen Industrie spielen aber drei weitere Alkalien eine bedeutend wichtigere Rolle als er, nämlich das Kali, das Natron und das Ammoniak nebst ihren zahlreichen Verbindungen. Von ihnen sind wieder die Kaliverbindungen die am längsten in der chemischen Industrie verwendeten, und wir wollen uns deshalb zuerst mit ihnen beschäftigen.

Kaliverbindungen finden sich über die ganze Erde verbreitet in sehr vielen Gesteinen. Aus diesen gelangen sie durch Verwitterung mit in die Ackerkrume, hier findet sie die Pflanzenwurzel und saugt sie auf, weil die Pflanzen für ihre Existenz Kaliverbindungen brauchen. Bei mancher Verwertung von Erzeugnissen der Pflanzenwelt scheiden sich hernach Kalisalze von ganz bestimmter Zusammensetzung aus, so setzt bekanntlich der Wein beim Lagern in Fässern harte Krusten ab, welche sich leicht durch Umkrystallisieren (s. S. 322) reinigen lassen und dann den Weinstein bilden. Seine Untersuchung hat gelehrt, daß er ein Salz ist, welches aus Kali und einer Säure besteht, die den Namen Weinsäure erhalten hat. Der ausgepreßte Saft der Oxalis-Arten scheidet beim Eindampfen ein Salz aus, welches früher Sauerkleesalz hieß, heute oxalsaures Kali genannt wird. Da es in der Färberei Verwendung findet, wurde es aus dem Pflanzensaft

ehemals in größeren Mengen gewonnen. Wir werden später sehen, daß es heute in chemischen Fabriken aus Sägespänen und Ätznatron hergestellt wird, so daß kein Feld mehr ihm zu Liebe mit Oxalis- oder Rumex-Arten, die es ebenfalls liefern, angebaut wird. Zersetzt man nun Weinstein oder Sauerkleesalz durch Feuer, so hinterbleibt das Kali als anorganischer nicht flüchtiger Bestandteil, während die organischen Verbindungen, hier also die Weinsäure oder Oxalsäure, verbrennen. Die bei der Verbrennung der organischen Substanz (alle organischen Verbindungen enthalten doch Kohlenstoff, s. S. 315) entstehende Kohlensäure verbindet sich sogleich mit dem Kali zu kohlensaurem Kali, der Rückstand besteht daher schließlich aus diesem weißen Salz, welches, wenn man von chemisch reinem, also durch wiederholtes Umkrystallisieren gereinigtem Weinstein oder oxalsaurem Kali ausgeht, sogleich chemisch rein ist.

Das von den Pflanzen aufgenommene Kali existiert also in diesen in Form organischer Salze. Verbrennt man daher Pflanzen oder Holz, so ist dieses Kali in ihrer Asche als kohlensaures Kali vorhanden, aber natürlich nicht chemisch rein, sondern vermischt mit den anderen anorganischen Stoffen, welche die Pflanze aus dem Boden ebenfalls aufgenommen hat. Laugt man aber solche Pflanzenasche mit Wasser aus, so wird nur das leicht lösliche kohlensaure Kali nebst einigen anderen löslichen Stoffen in dieses übergehen, filtriert man die so erhaltene Lösung und dampft sie zur Trockne, so wird es, allerdings verunreinigt, zurückbleiben. Weil das kohlensaure Kali und damit auch dieser Rückstand nun einmal von Natur her die Eigenschaft hat, an der Luft zu zerfließen, indem es aus dieser so viel Feuchtigkeit anzieht, daß es eben geradezu zerfließen kann, mußte dieses Material von jeher in geschlossenen Töpfen (Pots) verschickt werden, und daher hat es den Namen Pottasche erhalten. Die so häufig im Leben genannte Pottasche ist also kohlensaures Kali. Für sie gibt es in den verschiedensten Industrien Verwendung, und vor Erfindung der Soda war sie, wie wir später sehen werden, noch weit unentbehrlicher als heute.

In der eben beschriebenen Art wird nun auch jetzt noch eine ansehnliche Menge Pottasche hergestellt. Verfasser selbst sah noch vor zehn Jahren die Bauern des Dorfes Neureuth in Baden sie auf diese Weise bereiten. Sie sammeln alle Asche von Holzfeuerungen aus der Gegend, kochen sie aus und dampfen die Lösung in einem gußeisernen Kessel auf direktem Feuer ab, die, auf diese rohe Art hergestellt, einen rotbraunen meist nicht einmal 50% kohlensaures Kali enthaltenden Rückstand liefert. Eine in der Nähe gelegene Blutlaugensalzfabrik ist Käuferin für diesen. Doch führen die Bauern diese Industrie nur fort, wie sie sagen, weil der Auslaugerückstand, also die schwer löslichen Aschenbestandteile, ihnen als ausgezeichneter Dünger für ihre Tabakfelder dient, und dies ist wahrscheinlich der einzige Ort in Deutschland, an dem diese Fabrikation aus alter Gewohnheit noch betrieben wird. Überall, wo viel Holz gebrannt wurde, kauften aus uns jetzt leicht verständlichem Grunde ehemals Händler die Holzasche auf, um sie an Pottaschefabriken zu liefern, so z. B. noch in Paris in den fünfziger Jahren. Heute hat sich diese Art der Pottaschegewinnung aber bereits ganz nach Gegenden zurückgezogen, in denen Holz so billig ist, daß ihm Steinkohle noch keine Konkurrenz macht. Und so kommen Pottaschen aus Holz, sogenannte Holzaschen, nur noch aus Siebenbürgen und Ungarn, dem Inneren Rußlands und Nordamerikas in den Handel.

Der Rückstand, also die rohe Pottasche, welchen die von der Holzasche abgegossene Lauge nach dem Abdampfen hinterläßt, hat, wie gesagt, ein wenig erfreuliches Aussehen. Seine braune Färbung rührt von beigemengten, nicht völlig verbrannten organischen Resten des Holzes her. Diese rohe Pottasche wird deshalb in einem Flammofen (siehe die Abbildung eines solchen S. 333) calciniert, um eigentliche Handelsware zu sein. In der Hitze desselben verbrennt durch die mit den Feuergasen absichtlich in den Ofen gelassene Luft alles Organische, so daß die auf diesem Wege erhaltene calcinierte Pottasche, die zugleich völlig wasserfrei geworden ist, weiß aussieht. Nur die Pottasche aus Siebenbürgen zeigt einen Stich ins Blaue, welcher, wie die Untersuchungen gelehrt haben, von ein wenig Kupfer herrührt, das die Pflanzen jener Gegend aus dem Boden mit aufnehmen. Die Blaustichaschen werden fast völlig von der österreichischen Industrie verbraucht, so

daß man sie außerhalb dieses Landes kaum zu sehen bekommt. Die auf dem angegebenen Wege erhaltene calcinierte Pottasche enthält im besten Falle 80% kohlensaures Kali, der Rest ist schwefelsaures Kali u. s. w., der Gehalt sinkt aber selbst auf 50% herab. Doch kann man in folgender einfacher Weise aus ihr leicht ein höher prozentiges Produkt erzielen. Kohlensaures Kali ist im Wasser außerordentlich löslich, und daher stammt natürlich auch seine Zerfließlichkeit an der Luft. Wasser von 0° löst 90 Teile, Wasser von 100° 156 Teile von ihr, und löst man so viel Pottasche, als das Wasser überhaupt aufzunehmen vermag, in diesem auf, so siedet die Flüssigkeit bei 135° und hält 205 Teile Pottasche gelöst. Übergießt man daher unreine Pottasche mit nicht allzu viel Wasser, so wird dieses fast nur das kohlensaure Kali lösen, und die anderen Salze, wie schwefelsaures Kali, Chlorkalium u. s. w., werden zurückbleiben. Trennt man die Flüssigkeit von ihnen, dampft sie ab und calciniert sie wiederum, so wird man jetzt ein weit höher prozentiges Produkt, also eine weit reinere Pottasche erhalten.

Die Fabrikation an Pottasche aus Holz mag immer noch 20 Millionen kg jährlich betragen. Dabei ist die Ausbeute an ihr im Verhältnis zur Menge des Holzes nur gering. 1000 kg Buchenholz liefern etwa 3 kg, Eichenholz 1,5 kg, Pappelholz 0,75 kg kohlensaures Kali. Hieraus kann man ersehen, daß sie bei der fortwährenden Abnahme der Wälder allmählich ein rarer und jedenfalls sehr teurer Artikel hätte werden müssen, wenn nicht diese uralte Fabrikation in unserem Jahrhunderte sehr merkwürdige Konkurrenten bekommen hätte, einmal solche, die ebenfalls Pottasche liefern, und zweitens die Konkurrenz in Form der Soda, die sie in vielen Industriezweigen ersetzt und ganz aus ihnen verdrängt hat, worüber wir sehr bald das auch geschichtlich sehr interessante Nähere hören werden.

Wie in der Fabrikation des Zuckers aus Rüben auseinandergesetzt ist (s. Bd. IV), kommt dessen Gewinnung darauf hinaus, daß man die feingeschnittenen Rüben auslaugt und den erhaltenen Saft eindampft, worauf der Zucker auskryställisiert. Beim Auslaugen der Rüben geht aber nicht nur der Zucker in Lösung, sondern die Lösung enthält auch andere Substanzen, und nach dem, was wir eingangs über das weinsaure und oxalsaure Kali gehört haben, kann es uns nicht wunder nehmen, zu erfahren, daß im Rübensafte sich auch Kalisalze organischer Säuren finden. Ist der Zucker möglichst auskryställisiert, so nennt man die hinterbleibende Mutterlauge (s. S. 322) Melasse. Sie enthält noch viel Zucker, der also nicht mehr auskryställisieren will, auch die Kaliverbindungen sind in ihr sehr angereichert. Die Entzuckerung der Melasse ist ja eine heute auch gelöste Frage, wie bei der Zuckerindustrie auseinandergesetzt worden ist. Aber Zucker ist so billig geworden, daß an der Entzuckerung dieser Melassen nicht viel verdient werden kann, zumal die Erweiterung dieser Industrie nur neue Zuckerquantitäten auf den überfüllten Markt werfen müßte, und so sucht man denn immer mehr die so billige Melasse teils durch Überführen des Zuckers in Spiritus, noch lieber aber durch Verfüttern zu verwerten. Der Preis der Melasse ist nämlich in den letzten Jahren von etwa fünf Mark für den Zentner auf unter eine Mark gesunken. Für das Verfüttern mischt man, um das nebenbei zu erwähnen, die ausgelaugten Rübenschnitzel mit Melasse und läßt dieses Gemisch vom Vieh fressen, das auf diesem Wege den in der Melasse enthaltenen Zucker als Nahrungsmittel verwertet. Schon bevor man jedoch diese letzte der neuesten Zeit angehörige Ausnutzung, sowie die Entzuckerung der Melasse kannte, hatte man ihren Zuckergehalt durch das erwähnte Überführen in Spiritus zu verwerten gesucht. Zucker liefert nämlich unter passenden Bedingungen vergoren Spiritus (s. Bd. IV). Die nach dem Abdestillieren des Spiritus in der Destillierblase hinterbleibende Flüssigkeit heißt bekanntlich Schlempe. In ihr ist nun, wie die Überlegung lehrt, der gesamte Aschengehalt der Melasse vorhanden, denn nur der Spiritus ist doch abdestilliert worden. Dieser Aschengehalt beträgt durchschnittlich zehn Prozent, von dem ein großer Teil kohlensaures Kali ist. Dampft man also die Melasseschlempe ab und verkohlt sie, so muß man eine an Pottasche sehr reiche Kohle erhalten.

Das Eindampfen der Schlempe besorgen die Melassespiritusfabrikanten stets selbst, da der Versand der dünnen Flüssigkeit zu viel Transportkosten verursachen würde. Sie

bedienen sich hierzu langgestreckter Flammöfen, deren Sohle in mehrere Teile, welche die immer konzentrierter werdende Schlempe durchwandert, geteilt ist, und deren Abhitze gleichfalls möglichst zu ihrem Eindampfen ausgenutzt wird, indem man die abziehenden Feuergase unter eisernen mit der Schlempe gefüllten Reservoiren durchziehen läßt. 10000 l Schlempe geben ca. 275—300 kg Rückstand. Solche Schlempekohle enthält ungefähr 10% Kohle und sieht infolgedessen schwarz aus. Sie hat weiter einen Gehalt von etwa 30—40% kohlensaurem Kali, dem sich — für manche Verwendungen sehr störend — ein solcher von etwa 20% kohlensaurem Natron anschließt. Sie muß daher in chemischen Fabriken gereinigt werden. Zu dem Zweck zerkleinert man die Schlempekohle und laugt sie so vollkommen wie möglich aus. Der hierbei bleibende Rückstand hat einen unbedeutenden Düngewert und wird von nahewohnenden Bauern gekauft. Die erhaltene Lauge wird stark eingedampft und wieder abgekühlt, worauf die schwerer löslichen Salze auskrystallisieren. Dies Verfahren wird einigemal wiederholt, bis schließlich in der Lösung hauptsächlich nur noch das so leicht lösliche kohlensaure Kali vorhanden ist. Jetzt wird diese völlig eingedampft und calciniert. Die erhaltene halb raffinierte Pottasche wird neuerdings in wenig Wasser gelöst, wobei wiederum fremde Salze ungelöst bleiben, und liefert, nochmals eingedampft und calciniert, die rein weiße Melassenasche des Handels, welche, wenn sie gut gearbeitet ist, an 90% kohlensaures Kali und wenig kohlensaures Natron enthält, bei schlechter Reinigung aber einen Gehalt bis zu 20% an letzterem aufweist. Die Menge der jährlich fabrizierten Melassenasche mag 12 Mill. kg betragen.

Ein noch weit merkwürdigerer Sammelort für die im Boden in geringer Menge vorhandenen Kalisalze, der ihre Gewinnung in Form von Pottasche gestattet, ist der Wollschweiß der Schafe. Diese Tiere scheiden bedeutende Mengen der Kalisalze, die sie mit der Pflanzennahrung aufnehmen, durch den Schweiß wieder aus, welcher im Durchschnitt 15% vom Gewichte ihrer Rohwollen ausmacht. Das Waschen dieser, die so massenhaft aus Australien, Südafrika und Südamerika nach Europa eingeführt werden, wird bekanntlich heute in besonderen Fabriken ausgeführt, die wieder an den Hauptsitzen der Wollwarenindustrie konzentriert sind. So z. B. in der Gegend von Reims in Frankreich. Dort ist denn auch die Gewinnung von Pottasche aus Wollschweiß von Maumené und Rogelet im Jahre 1859 eingeführt worden. Sie hat sich hernach über alle Wollwäschereien verbreitet. Das ursprüngliche Verfahren der Erfinder war folgendes: Die vom Waschen der Rohwollen herstammenden Waschwässer wurden zur Trockne gedampft, und der trockene Rückstand wurde nach Art der Steinkohlen in Gasretorten geglüht (s. die Leuchtgasindustrie). Das beim Erhitzen der Retorten aus ihnen entweichende Gas diente als Leuchtgas, während der verkohlte Rückstand, der also den Koks der Gasanstalten entspricht, nunmehr ganz nach Art der Schlempekohle auf Pottasche verarbeitet wurde. Natürlich kann man nur in den Zentren der Wollindustrie so viel Wollschweiß auftreiben, um die Leuchtgasfabrikation damit zu verbinden, deshalb dampfen die einzeln liegenden Fabriken ihre Waschwässer unter Verzicht auf die Gasgewinnung direkt in Flammöfen ab und verkaufen die in diesen erhaltene Kohle, die also hier ebenfalls der Schlempekohle entspricht, an chemische Fabriken zur weiteren Reinigung. — Die Wollschweißaschen sind den Melasseaschen in zweifacher Beziehung überlegen. Sie enthalten wenig oder fast gar kein kohlensaures Natron, und außerdem sind sie völlig frei von phosphorsaurem Kali, das sich in den Melasseaschen regelmäßig in Spuren findet. Diese Spuren machen letztere aber bereits für die Glasfabrikation unbrauchbar, weil sich in dem mit ihnen hergestellten Glase etwas phosphorsaurer Kalk bildet, welcher undurchsichtig ist, so daß solches Glas trübe erscheint. Man sieht, wie bei der heutigen hochentwickelten Technik selbst Spuren von Verunreinigungen zu beachten sind. Die Menge der jährlich produzierten Wollschweißasche mag 1 Million kg betragen.

Aus dem Mitgeteilten geht hervor, auf wie merkwürdige Art die im Boden spurenweise vorhandenen Kalisalze unter Ausnutzung der Vorarbeiten der Natur in Form von Pottasche gewonnen werden können. Natürlich hat es auch nicht an Versuchen gefehlt, den Kaligehalt der Gesteine, welche durch ihre Verwitterung der Ackerkrume das nötige

Kali geliefert haben, da, wo diese in Massen anstehen, direkt zu verwerten. All derartige Versuche sind aber an der Schwierigkeit der Aufgabe gescheitert, da es sich meist um die Nutzbarmachung so harter Mineralien wie des Kalifeldspats, der zudem noch nicht einmal viel Kali enthält, handelte.

Den völligen Umschwung brachte dann die Entdeckung der Kalisalzlager zu Staßfurt. Staßfurt liegt südwestlich von Magdeburg an der Bode, und die Geschichte seiner Industrie ist sehr alt. Agricola kennt schon die scharfe Salzsole des Ortes, aus welcher durch Eindampfen Kochsalz dargestellt wurde. Dies war und blieb eine Goldgrube für den Ort, bis gegen Ende vorigen Jahrhunderts übermächtige Konkurrenz den Ruin seiner Industrie herbeiführte. Namentlich ein zu Dürrenberg vom Kurfürsten von Sachsen 1780 angelegtes Salzwerk trug zu diesem Niedergange bei. Im Jahre 1794 entschlossen sich deshalb die bisherigen Besitzer, die den Betrieb kaum mehr aufrecht erhalten konnten, die gesamten Siedereien ihrem Landesherrn, dem König von Preußen, gegen eine Summe von 300 000 Mark zum Kauf anzubieten. Im Jahre 1796 kaufte dann wirklich der König das Salzwerk für 255 000 Mark an. Doch blieb auch weiterhin der Absatz an Salz ein so geringer, daß man 1799 sogar in Staßfurt eine Wollspinnerei anlegen wollte, um den vielen armen Leuten, die man bei der Salzgewinnung nicht mehr beschäftigen konnte, einen Verdienst zu verschaffen. Die Befreiungskriege brachten dann die Salzgewinnung fast ganz zum Erliegen, und erst 1815 begann sie wieder ernstlich, um noch bis 1839 in alter Weise fortgeführt zu werden.

Die Mitte dieses Jahrhunderts, die den größten Umschwung repräsentiert, den die Menschheit in Beziehung auf die Thätigkeit des Friedens je erlebt hat, hat denn auch hier ein Bergwerk erstehen sehen, welches in seiner Art einzig bis auf diesen Tag geblieben ist, und welches ganz allein bis auf den heutigen Tag die Welt mit den namentlich für die Landwirtschaft so wichtig gewordenen Kalisalzen versorgt. Die Mitte des Jahrhunderts sah das Erwachen des Eisenbahnbaues, erlebte die Einrichtung der ersten regelmäßigen Dampfschiffsverbindungen zwischen den einzelnen Erdteilen, sah den Telegraphendraht die Länder umspannen und schließlich für die Gedankenwelt die Meere überbrücken. In die Mitte des Jahrhunderts fällt die Entdeckung der kalifornischen Goldfelder, die für den gerade durch den Eisenbahnbau u. s. w. so sehr gesteigerten Geldbedarf die nötige Geldunterlage schuf, indem sie den zu jener Zeit schon wieder ziemlich knappen Goldbestand der Kulturländer ergänzte. In der Mitte des Jahrhunderts sind auch die ersten großen Handelsbanken gegründet worden, die, da die Mittel der einzelnen Großkaufleute anfingen nicht mehr auszureichen, die Barmittel einer Vielheit der Gesamtheit zur Verfügung stellen.

Zur Entdeckung der Kalisalzlager in Staßfurt kam man so, daß man sich entschloß, statt die zu Tage tretende Salzsole zu versieden, lieber nach dem sicher dort im Boden vorhandenen Steinsalz zu suchen, für dessen Gegenwart die gesamten geologischen Verhältnisse sprachen. Zwar hatte man schon von 1725—1731 ein Bohrloch von 186 m in die Tiefe getrieben, eine für jene Zeit höchst achtbare Leistung, die Fortsetzung der Arbeit wegen der wachsenden technischen Schwierigkeiten aber aufgeben müssen. Im Jahre 1843 fand man dann in einer Tiefe von 312 m ein Steinsalzlager, das sich seinerseits 325 m stark erwies. Doch schmeckten die heraufgebrachten Salzproben anfangs infolge von Beimengungen bitter. Hierdurch enttäuscht, wollte man den beabsichtigten Bergbau wieder aufgeben, bis sich herausstellte, daß sich in den tieferen Schichten ein völlig reines Steinsalz findet. Im Jahre 1851 wurde sodann der erste Schacht angehauen, man stieß bei 256 m schon auf Steinsalz, ging aber noch bis auf 334 m, in welcher Tiefe es sich als ganz rein erwies. Da das zu Preußen gehörige Staßfurt dicht an der Grenze von Anhalt liegt, begann, hierdurch angeregt, auch die anhaltinische Regierung mit Bergbau auf Steinsalz. Das bei dem Abteufen der Schächte herausgebrachte bittere Salz lag auf dem Hofe des Schachtgrundstückes als wertlos beiseite geworfen, jedermann zu Versuchen zugänglich. Erst nachdem die chemische Analyse Kalium in ihm nachgewiesen hatte, begann das Interesse auch an ihm zu wachsen, indem man nun endlich hoffen konnte, sich von der aus Holzasche gewonnenen Pottasche, der einzigen bis dahin gekannten

Quelle für Kaliverbindungen, unabhängig zu machen, was als ein gewiß erstrebenswertes Ziel erschien. Der preußische Oberberghauptmann Krug von Nidda war der erste, der ernstlich auf den großen Wert der Kalisalze hinwies und Versuche veranlaßte, ob sie, weil alle Pflanzen Kali brauchen, als Düngemittel für die Felder zu verwerten wären. Aber die Abraumsalze waren zu sehr mit ungeeigneten Beimengungen vermischt, um direkt zu diesem Zwecke, dem sie heute im allergrößten Maßstabe dienen, Verwendung finden zu können. Dies war wiederum die Veranlassung zur Gründung von Fabriken, die sich mit ihrer Reinigung befassen, und so entstand die gewaltige chemische Industrie in der Umgebung von Staßfurt, die jetzt also der ganzen Welt die nötigen Kalisalze liefert. Die in Staßfurt in ganz unerschöpflichen Mengen lagernden Kalisalze bestehen zum Teil aus Chlorkalium und werden auf dieses verarbeitet. Dieses hinwiederum kann in Pottasche, kohlensaures Kali, übergeführt werden, und konkurriert mit demjenigen Quantum, welches auf den drei von uns ausführlicher besprochenen Wegen gewonnen wird. Das weitere über das Chlorkalium und die anderen Staßfurter Kaliverbindungen lernen wir später im Abschnitt über die künstlichen Düngemittel kennen. Die Überführung des Chlorkaliums in kohlensaures Kali, mit dem wir es hier zu thun haben, erfolgt nun erst in neuester Zeit und zwar nach denselben Prinzipien, nach welchen seit etwa einem Jahrhundert Chlornatrium, das ist unser gewöhnliches Kochsalz, in kohlensaures Natron, welches im Leben Soda genannt wird, verwandelt wird. Wir können daher die Methode seiner Überführung in Pottasche nur im Anschluß an die Sodagewinnung klar legen.

Einfuhr und Ausfuhr des Deutschen Reiches an Pottasche in Mengen von 100 kg

Jahr	Einfuhr	Ausfuhr	Jahr	Einfuhr	Ausfuhr	Jahr	Einfuhr	Ausfuhr
1890	16258	105934	1892	21679	108645	1894	22955	121052

Bevor wir aber zur Soda übergehen, wollen wir erst die weiteren technisch dargestellten Kalisalze im Zusammenhang kennen lernen und hier noch erwähnen, daß eine der Hauptverwendungen der Pottasche die zur Glasfabrikation ist, wie in einem anderen Abschnitte dieses Bandes erläutert wurde. Eine zweite, fast noch wichtigere ist ihre Verwertung in der Seifensiederei, wie wir später sehen werden. Außerdem wird sie noch in vielen sonstigen Industrien benutzt, wenn sie auch nur noch in einer die Grundlage des ganzen Prozesses ist; diese letztere Industrie ist die des Blutlaugensalzes mit dem aus diesem darstellbaren Berliner Blau und Cyankalium, deren Besprechung wir deshalb hier folgen lassen.

Die Blutlaugensalzindustrie.

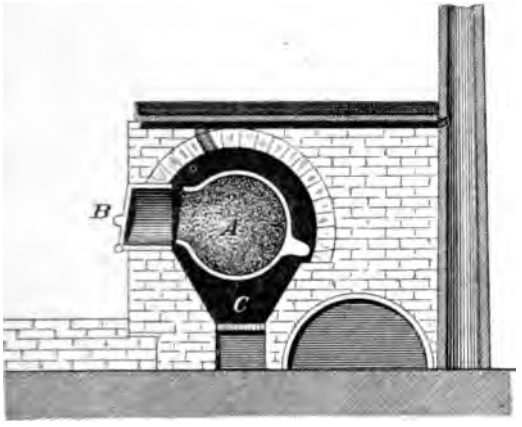
Im Jahre 1704 erhielt ein Berliner Farbenkünstler Diesbach plötzlich ein wunderschönes Blau statt einer anderen von ihm erwarteten Farbe, als er zu einer Flüssigkeit, die er, wie er es gewohnt war, bereitet hatte, eine Eisenlösung setzte. Die Schönheit der neuen Farbe veranlaßte ihn, die Entdeckung weiter zu verfolgen, und er konnte feststellen, daß er bei seiner Arbeit sich einer Pottasche bedient hatte, die ihm von dem bekannten Alchemisten Dippel geliefert worden war. Er wandte sich wegen der etwaigen besonderen Beschaffenheit dieser Pottasche an den Genannten und erfuhr von ihm, daß er sie vorher mit Rinderblut calciniert hatte. So ergab sich als Fabrikationsmethode dieser unter dem Namen „Berliner Blau“ so bekannt gewordenen Farbe anfangs die, daß man Pottasche mit Rinderblut zusammen calciniert, d. h. zum Schmelzen erhitzt, dann die Schmelze in Wasser löst, jetzt ansäuert und eine Eisenlösung zufügt, worauf die blaue Farbe sich aus der Flüssigkeit abscheidet. Es dauerte gar nicht lange, bis man herausfand, daß man an Stelle von Blut auch alle möglichen anderen tierischen Stoffe für diese Fabrikation benutzen kann: Fleisch, Horn, Wolle, Leder u. s. w. Auch fand man allmählich heraus, daß, wenn man diese genannten Stoffe mit Pottasche schmilzt, die Schmelze in Wasser löst und hernach die Lösung eindampft, aus ihr ein gelbes Salz auskryställisiert, das den Namen Blutlaugensalz erhalten hat, während der Überschuß an Pottasche, welcher in der Schmelze unverändert geblieben, d. h. nicht in Blutlaugensalz übergegangen war, jetzt aus der Flüssigkeit wieder gewonnen werden kann.

So einfach hiernach die Fabrikation des Blutlaugensalzes erscheint, so gehört sie mit zu den allerschwierigsten der ganzen chemischen Technik, wenn wir von der modernen

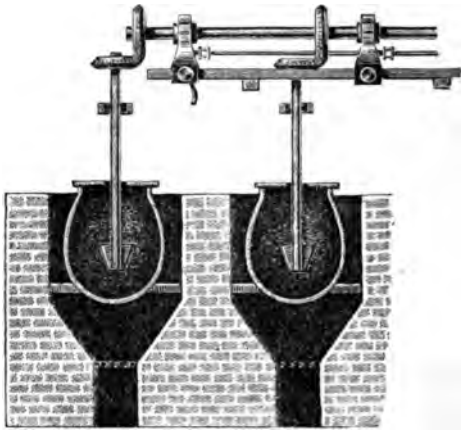
Teerfarbenindustrie mit ihren Annexen absehen. Wegen der zahlreichen Hantierungen, die sie erfordert, die auch in anderen technischen Industrien in ähnlicher Weise zum Teil Verwendung finden, wollen wir sie hier ausführlich besprechen, weil diese Mitteilungen uns ermöglichen, diese Manipulationen im Zusammenhang darzustellen, was ihr Verständnis erleichtert, und weil wir dann später im Buche auf die hier bereits beschriebenen Arbeitsmethoden verweisen können und dadurch vielfach Wiederholungen ersparen. Zugleich werden wir sehen, wie die Blutlaugensalzindustrie fortwährend durch neuere Erfindungen in ihrer Arbeitsweise, ja in ihrem Bestande bedroht wird, ein Schicksal, das sie mit vielen chemischen Industrien teilt.

Wie wir soeben erfuhren, kann man in der Blutlaugensalzindustrie alle möglichen Arten von tierischen Abfällen verwenden, und so war sie volkswirtschaftlich von besonderer Bedeutung für die Verwertung dieser Abfälle, welche ehemals fast als wertlos angesehen wurden.

Heutzutage weiß man ja, daß alle stickstoffhaltigen Materialien Düngemittel (siehe später im Abschnitt künstliche Düngemittel) und als solche verwertbar sind.



331. Schmelzbirne.



332. Schmelzbirne mit mechanischem Rührer.

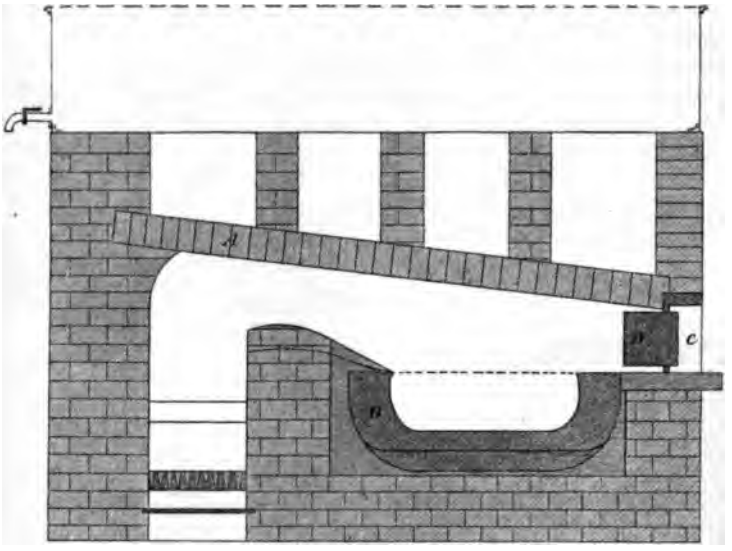
Früher benutzte man diese Abfälle höchstens zu einem Zwecke, nämlich zur Darstellung von sogenanntem Hirschhornsalz. Hirschhornsalz ist kohlensaures Ammoniak, und Ammoniak besteht aus Stickstoff und Wasserstoff, was wir uns für später gut merken wollen. Destilliert man Tierstoffe aus einer Retorte, so wird ihr Stickstoff in der Hitze teilweise als Ammoniak ausgetrieben — wir werden daher den Apparat hierzu und das Nähere über das Arbeiten mit ihm in der Industrie des Ammoniaks kennen lernen — welches Ammoniak sich mit der ebenfalls entstehenden Kohlensäure zum Hirschhornsalz verbindet. Außerdem bildet sich bei der Destillation ein abscheulich riechendes Öl, das Dippelsche Tieröl.

Der Rückstand, welcher in den Retorten bleibt, ist eine kohlige Masse, welche noch reichlich Stickstoff enthält, der mit Pottasche verschmolzen Blutlaugensalz liefert. Auf die chemischen Vorgänge bei diesem Prozeß kommen wir im Verlaufe der Beschreibung der Fabrikation zu sprechen. So wurde denn in den Fabriken, welche sich mit der Herstellung des Hirschhornsalzes beschäftigten, schon allein um den kohligen Abfall irgendwie zu verwerten, die Blutlaugensalzfabrikation ausgebildet. Das Blutlaugensalz in Kryställen ist erst in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts in den Handel gekommen, bis dahin wurden die Schmelzen, wie sie der Ofen lieferte, so wie es oben angegeben ist, direkt auf Berliner Blau verarbeitet, ein Verfahren, das eine ungeheure Verschwendung an Pottasche bedeutete und dabei niemals ein so schönes Blau zu liefern vermag, wie das durch die Kryställisation gereinigte Blutlaugensalz.

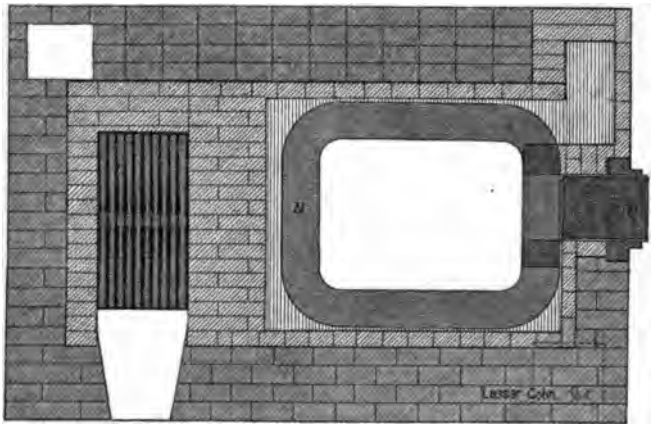
Die Fabrikation des Ammoniaks resp. des Hirschhornsalzes aus tierischen Abfällen kam um die Mitte dieses Jahrhunderts zum Erliegen, als man im Gaswasser der Gas-

anstalten eine neue billigere und unerschöpfliche Quelle für Ammoniak kennen lernte. Die Blutlaugensalzfabriken gaben daher seit dieser Zeit das Verkohlen der Tierstoffe also die Fabrikation, von der sie ausgegangen waren, als nicht mehr lohnend auf und verarbeiten seitdem die Abfälle unverkohlt.

Wir erwähnten oben die Wolle als ein Rohmaterial der Blutlaugensalzfabriken. Selbstverständlich verwandte man niemals reine Wolle, sondern stets nur wollene Lumpen, die ein ausgezeichnetes Material für diese Fabrikation abgeben oder vielmehr „abgaben", denn heute bilden sie mit eine der Ursachen, die diese Fabrikation so schwierig machen. Ehemals bestanden die wollenen Lumpen wirklich aus Wolle. Heutzutage werden aber alle wollene Lumpen wieder auf Kunstwolle verarbeitet, und nur die Nähte der Stoffe, welche die Maschinen nicht zu dieser zerreißen können, wandern in die Blutlaugensalzfabriken. Dies wäre noch nicht so schlimm, da es auch hiervon genug gibt, wenn nur nicht heutzutage fast alle wollenen Gewebe so stark mit Baumwolle versetzt wären. Baumwolle, die als pflanzliches Produkt im Gegensatz zu Stoffen tierischen Ursprungs keinen Stickstoff enthält, ist für unsere Fabrikation aber völlig wertlos, und so liefern 100 kg sogenannte Wolllumpen der Gegenwart viel weniger Blutlaugensalz als in alten Zeiten.



333. Längsschnitt eines Flammofens für die Blutlaugensalzfabrikation.

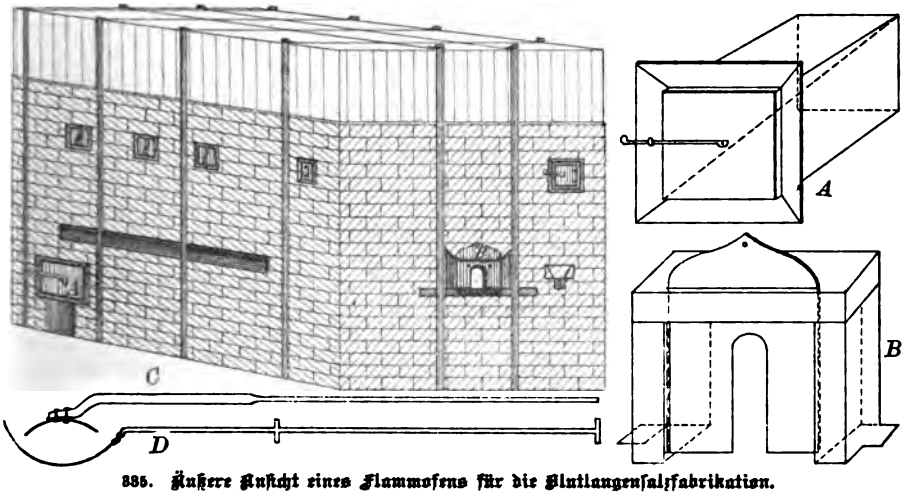


334. Querschnitt eines Flammofens für die Blutlaugensalzfabrikation.

Die Fabrikation selbst verlief ehemals in folgender Weise. In der Birne A wurde Pottasche durch die auf dem Rost C brennende Feuerung bis zum Schmelzen erhitzt, und in die geschmolzene Masse von der mit Deckel versehenen Öffnung b her die Tierkohle eingetragen, und zwar dem Gewichte nach etwa eben so viel Tierkohle als Pottasche eingeschmolzen worden war. Jede Portion — und die Tierkohle mußte portionsweise eingetragen werden — mußte sogleich gut in der Schmelze verrührt werden. Deshalb gingen man in England, um an Arbeitslöhnen zu sparen, zu mechanischen Rührern über, die eine etwas andere Aufstellung der Birnen verlangten. Man schmolz dort jedesmal etwa 40 kg Pottasche ein, und die Ausbeute an Blutlaugensalz mag 20 % auf diese berechnet betragen haben. Das Störende bei dieser Art des Arbeitens war die gering

Haltbarkeit der Kessel. Infolge des Schwefelgehaltes, welcher allen Tierstoffen eigen ist, bildet sich Schwefeleisen, das sich in der geschmolzenen Masse löst, und hierdurch wird der Kessel rasch verzehrt, wenn man auch, um ihn schonen zu helfen, jeder Schmelze einige Kilo Eisenspäne zusetzt. Daher bedeutete es eine Art von Erlösung für die Fabrikanten, als sich das Patent des Engländers Naumann in der Praxis bewährte, wonach man die Blutlaugensalzschmelzen statt in Birnen im Flammofen ausführen soll.

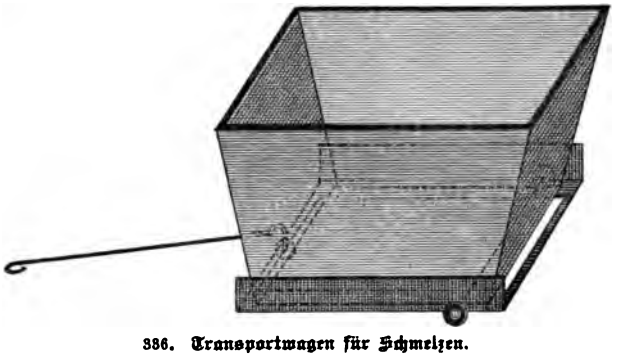
Außerdem war der Bau der älteren Öfen weit schwieriger, als es bei den heutigen der Fall ist, namentlich verwandte man eine recht komplizierte Gewölbekonstruktion in ihnen. Das jetzige Gewölbe A wird in Form eines Tonnengewölbes glatt durchgeführt, und da für ein solches die Ziegel wenig behauen zu werden brauchen, kann man die für dasselbe verwendeten Chamottesteine, wenn der Ofen nach 3 bis 4 Monaten ausgedient hat und abgebrochen wird, beim Neubau wieder verwenden. Wir geben hier die neuere Konstruktion eines solchen Ofens im Durchschnitt und Querschnitt wieder. Sein Bau erfolgt in folgender Art. Auf einem massiven Unterbau aus gewöhnlichen Ziegeln von 35 cm Höhe wird eine Schicht von 3 bis 4 cm feuerfestem Thon gegeben, und auf diese die eiserne Schale B geschoben, welche eine äußere Länge von 150 cm und die entsprechende



385. Äußere Ansicht eines Flammofens für die Blutlaugensalzfabrikation.
A Feuerthür. B Einwurfthür. C Rührer. D Ausschöpflöffel.

Breite sowie eine Höhe von 50 cm hat. Die Wand der aus Gußeisen hergestellten Schale ist entweder überall 20 cm stark, oder, wie es ebenfalls in der Zeichnung angedeutet ist, man begnügt sich mit einer Bodenstärke von 10 cm. Dies hängt von den in der Fabrik üblichen Rührern ab, haben sie die weiterhin abgebildete Form, so kratzen sie den Boden wenig, und seine Stärke von 10 cm genügt, haben sie aber eine mehr gabelförmige Gestalt, so zerstören die Zinken der Gabel den Boden derartig, daß er doppelt so stark sein muß, wenn der Ofen eine gleich lange Zeit seine Dienste leisten soll. Solche Schalen wiegen 3000 bis 4000 kg. Die direkt von den Flammen getroffenen inneren Teile des Ofens sind aus feuerfesten Steinen hergestellt. In welcher Stärke dieselben zur Verwendung gelangen, ersehen wir aus den heller schraffierten Stellen des Querschnitts. Die Feuerbrücke, über welche die Flamme vom Rost her in die Schale schlagen soll, hat eine Stärke von 48 cm. Die auf den Unterbau geschobene Schale wird also während des Baues soweit an die Feuerung geschoben. Über die Höhe, welche man der Feuerbrücke gibt, sind die Anschauungen verschieden, auch dieses ist aus der Abbildung ersichtlich. Ebenso ist es schwer zu sagen, ob eine höhere oder niedrigere Lage des Rostes im Verhältnis zur Unterkante der Schmelzschale günstiger ist. In unserer Abbildung liegen die Roste sehr tief, während auch ihre höchste Lage angedeutet ist. Man muß nämlich einen Ofen als verbraucht betrachten, wenn die Schmelze infolge der übermäßigen

Abnutzung der Schale anfängt, durch die Fugen des Ofens ins Freie zu laufen. Liegen die Roste sehr tief, so liegt die Gefahr vor, daß die Schmelze, die sich innerhalb der Feuerbrücke, dem heißesten Teil des Ofens, leicht flüssig erhalten kann, eher nach der Feuerung zu durchläuft, als wenn der Ofen unterhalb der Schale kühler gehalten wird, so daß, solange nur geringe Mengen von ihr durchzusickern versuchen, diese hier erstarren. Von der Schale bis zur Arbeitsöffnung C bleiben ebenfalls etwa 48 cm Mauerwerk, in welcher Stärke man auch die Seitenwände des Ofens aufführt. Ist man mit der Aufmauerung bis über die Höhe der Schale gelangt, so stampft man alle Zwischenräume mit allerbester gemahlener Chamotte voll und bedeckt auch mit dieser den Rand der Schale, um sie möglichst vor dem Verbrennen zu schützen, welcher Schutz einige Monate vorhalten kann. Nunmehr werden die zwei Rostbalken, auf denen hernach die Roste ruhen sollen, eingemauert, und gleichzeitig wird die Feuerthür (s. Abb. 335 A) angebracht. Hernach wird auf der der Feuerung entgegengesetzten Seite des Ofens die Einwurfthür (s. Abb. 335 B), welche zum Eintragen der Tierstoffe in die geschmolzene Pottasche dient, eingemauert, und nun der Ofen mittels des Gewölbes geschlossen. Auf das Gewölbe kommt dann in der in der Abbildung angegebenen Art eine große eiserne Pfanne, in welcher durch die Abhitze des Ofens Laugen eingedampft werden, indem man die Flamme unter dieser hin und her führt.

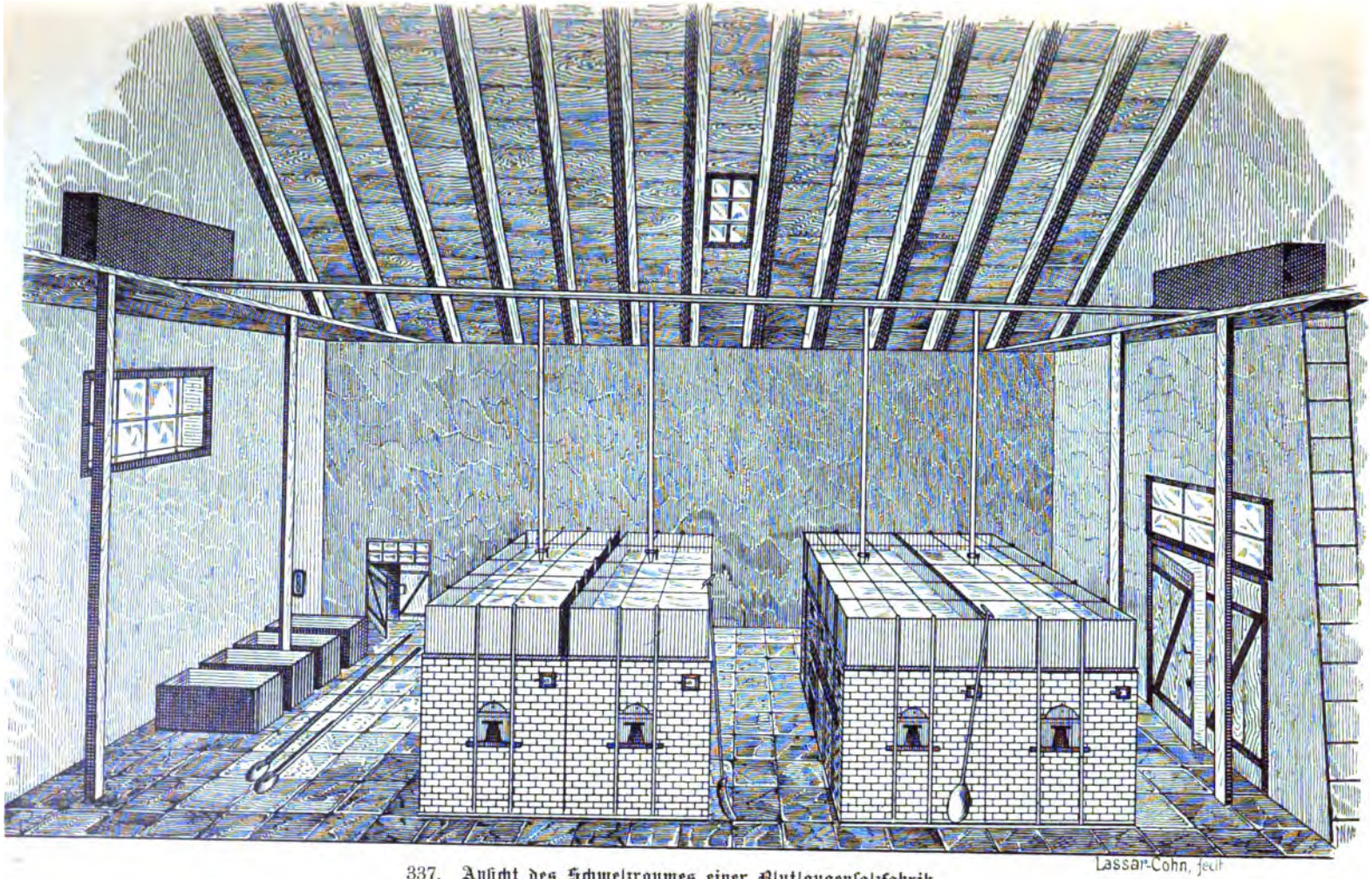


336. Transportwagen für Schmelzen.

Sehr merkwürdig ist bei diesen Öfen die Anbringung des Zuges. Während dieser sich, wenn die Anordnung der der sonstigen Flammöfen entspräche, über der Einwurfthür befinden sollte, ist er hier ganz unten nach der Seite verlegt; dadurch wird die Flamme gezwungen, möglichst in den Ofen hinunter auf das in der Schale befindliche Schmelzgut zu schlagen. In unserer Abbildung bezeichnet D diesen Austritt der Flammen aus dem Ofen. Zum Zusammenhalten des Ofens während des Betriebes wird er mit einigen Eisenbahnschienen umgeben, die tief in den Boden reichen und oberhalb der Laugenpfanne fest zusammengezogen werden. Die auf der äußeren Abbildung des Ofens angegebenen weiteren kleinen Thüren dienen zum Entfernen der Asche, die sich während des Betriebes namentlich unter der Pfanne absetzt.

Vermittelst des Seitenzuges gelingt es also einen solchen Ofen, wenn man mittels eines Schiebers den Zug in ihm passend reguliert, völlig mit Flammen zu erfüllen. Infolgedessen erreicht man mit verhältnismäßig wenig Brennmaterial in demselben eine gewaltige Hitze. Ja die Hitze ist so groß, daß ein Teil der Kalisalze in ihm zu verdampfen beginnt, wenn die Arbeiter zu stark feuern, worauf sie zur Vermeidung von Verlusten natürlich achten müssen. Sorgt man aber für Innehalten der richtigen Temperatur, so bekommt man ausgezeichnete Schmelzresultate. Ein äußeres Anzeichen dafür hat man an folgendem. Schöpft der Arbeiter schließlich aus dem Ofen die fertige Schmelze mittels eines großen Löffels, der, um mit ihm bequemer hantieren zu können, in einer von der Decke herabhängenden Kette aufgehängt wird, in den an den Ofen geschobenen Kasten, welcher aus schmiedeeisernen Platten zusammengesetzt ist, und auf einem niedrigen Rädergestell ruht, um ihn bequem transportieren zu können, so muß sie noch im Wagen Funken sprühen, und müssen aus ihr violette Dämpfe aufsteigen. Sind diese weiß oder gar undurchsichtig, so ist die Hitze zu groß gewesen, und es ergeben sich bedeutende Verluste.

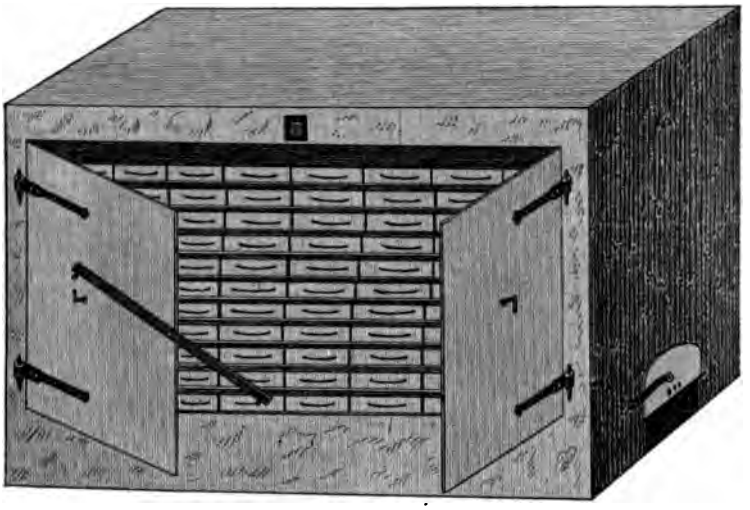
Auf der Abb. 337 sehen wir den Schmelzraum einer Fabrik, in welchem drei Öfen im Betrieb sind, während der vierte zur Reserve dasteht. So gewaltig stark nämlich auch die gußeisernen Schmelzschalen gemacht werden, so werden auch sie, obgleich man



337. Ansicht des Schmelzraumes einer Blutlaugensalzfabrik.

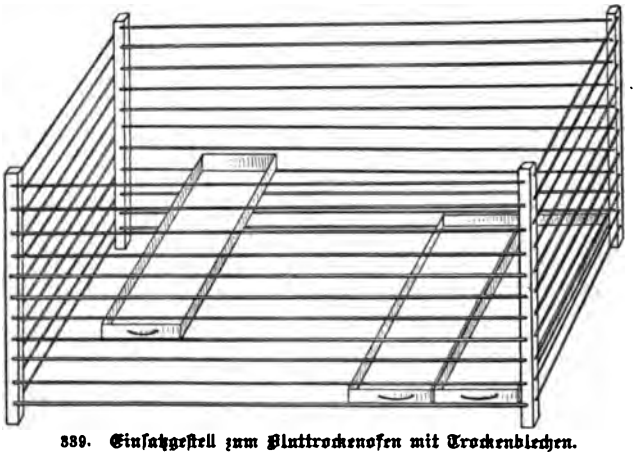
jeder Schmelze reichlich Eisenspäne zusetzt, in drei bis vier Monaten zerfressen, indem sich also ihr Eisen in der Schmelze als Schwefeleisen auflöst.

Nachdem ein Ofen etwa im Laufe von 14 Tagen erbaut ist, läßt man ihn einige Tage austrocknen und heizt ihn sodann langsam an. Am vierten Tage pflegt er so weit angewärmt zu sein, daß man mit der Vollfeuerung beginnen kann, und nach weiteren 48 Stunden etwa trägt man zum erstenmal Pottasche durch die Einwurfthür in ihn ein. Anfangs nimmt man nur 100 kg von ihr, später, entsprechend dem Ausbrennen der Schale, steigt man allmählich auf 150 kg. Nach $^3/_4$ Stunden etwa ist die Pottasche in feurigem Fluß, jetzt schließt man den Schieber des Ofens möglichst,



338. Äußere Ansicht eines Blutrockenofens.

um den Zug zu verringern, und beginnt mit dem Eintragen der Tierstoffe, die mittels des Rührers sofort in die glühende Flüssigkeit eingetaucht und verrührt werden. Die Gesamtmenge des für eine Schmelze nötigen Rohmaterials bezeichnet man als Charge. Sie ist in der Fabrikation fortwährenden Schwankungen unterworfen, da man nicht fortdauernd gleichmäßige Tierstoffe und alle Arten von ihnen in genügender Menge haben kann. Die Charge setzt sich zusammen aus: Handelspottasche, Betriebspottasche und den verschiedenen Tierstoffen.



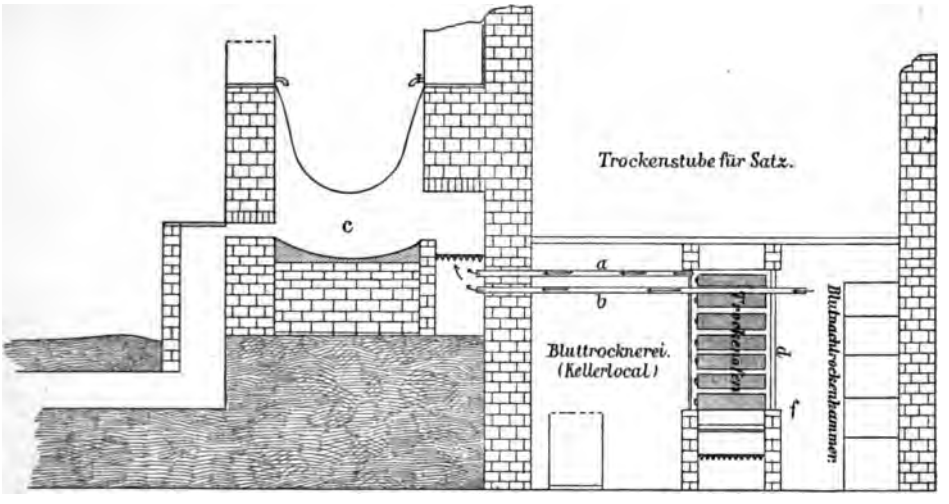
339. Einsatzgestell zum Blutrockenofen mit Trockenblechen.

Als Handelspottasche benutzt man möglichst reine Sorten, namentlich sollen sie frei von Soda sein, weil diese erfahrungsgemäß die schließliche Ausbeute an Blutlaugensalz sehr herabdrückt. Als Tierstoffe verarbeitet man Hornabfall, trocknes Blut, wollene Lumpen, Haare aus Gerbereien, Leder und Wollabfälle aus Spinnereien. Die Stoffe sind dem Werte nach, den sie für die Fabrikation haben, aufgeführt. Das Blut muß sich der Fabrikant selbst trocknen. Dazu dient die in Abb. 338 dargestellte einfache Vorrichtung, in der das Blut auf flachen Schüsseln, die man auf eine Stellage schiebt, möglichst entwässert wird. Wegen des höchst unerfreulichen Geruchs, der sich hierbei entwickelt, leitet man die aus dem Trockenofen selbst und aus dem Trockenraum hinter ihm abziehende Feuchtigkeit unter die Feuerung eines benachbarten Ofens, wodurch dieser Übelstand mühelos beseitigt wird. Auch benutzt man die Abhitze desselben zum Erwärmen von

Trockenstuben, wie aus der Abb. 340 hervorgeht. Die Röhren a und b leiten die vom Bluttrocknen herstammenden Gerüche unter die Feuerung des Pottaschewiedergewinnungsofens c, auf den wir sogleich zurückkommen. Hinter dem eigentlichen Bluttrockenofen befindet sich eine Kammer f zum Nachtrocknen des Blutes. Sie wird recht heiß gehalten und empfängt ihre Wärme dadurch, daß die Rückwand des eigentlichen Trockenofens aus Eisenplatten d besteht, beansprucht also keine besondere Feuerung.

Da die Feuerung des Trockenofens aber selbst in dieser Form nicht genügend ausgenutzt wird, ist die Trocknerei in einem Keller angebracht, und man läßt die Feuergase in einer langen Röhrenleitung einen oberhalb des Kellers gelegenen Raum erwärmen, welcher zum Trocknen von Satz (siehe weiterhin) dient.

Eine Charge setzt sich also stets aus den genannten verschiedenen Tierstoffen zusammen, aber eine normale Mischung derselben anzugeben, ist noch niemand gelungen. Der Erfolg der Schmelze hängt von so viel Zufälligkeiten ab, daß man niemals eine

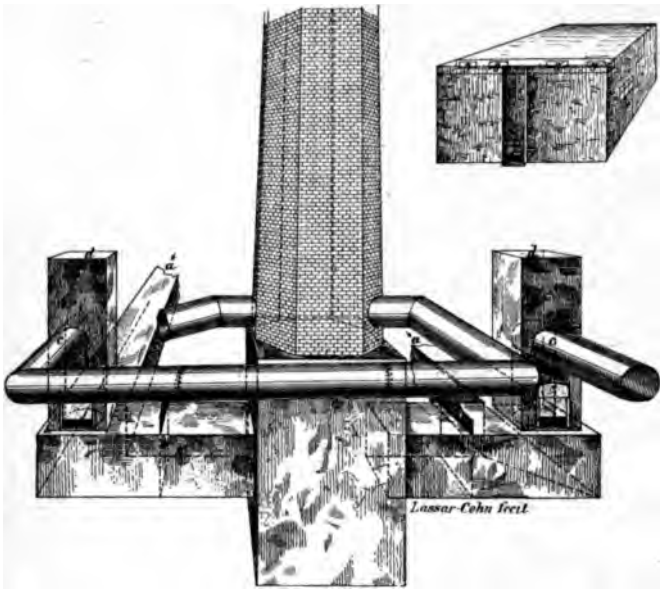


340. Ausnutzung der Abhitze eines Bluttrockenofens und Verbrennen der übelriechenden Dünste.

absolut bestimmte Ursache hierfür angeben kann. Es hat sich aber im Laufe der vielen Jahre eine Art von Mittelstraße herausgebildet, und mit einer Durchschnittsausbeute von 15 % Blutlaugensalz war man ehemals recht zufrieden, welche man aber heute wegen der Verschlechterung der Wolllumpen, über die wir oben sprachen, kaum mehr erreicht.

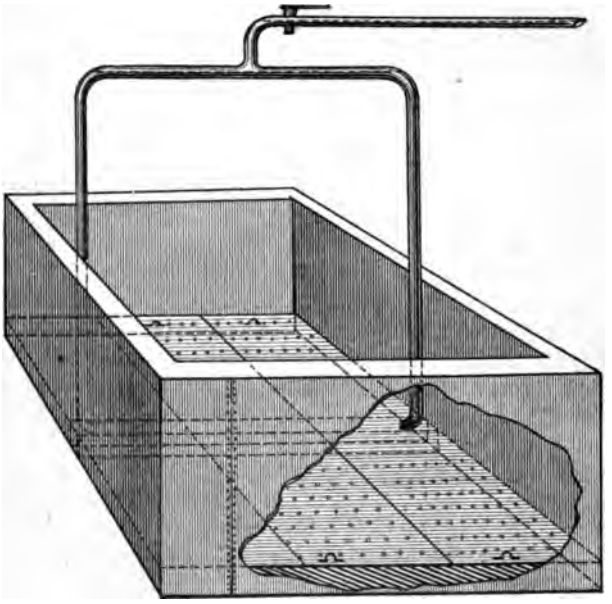
Alles Rohmaterial soll möglichst trocken in die Öfen kommen, weil dies erfahrungsgemäß die Ausbeuten verbessert, und so trocknet man es möglichst. Die Trockenstuben heizt man mit der Abhitze, die die Schmelzöfen liefern, die man auf diesem Wege, statt sie nutzlos in den Kamin entweichen zu lassen, verwendet. Eine hierfür gebrauchte, wohl auch bei vielen anderen Gelegenheiten verwertbare Einrichtung ist z. B. die folgende (Abb. 341). Durch a bezw. a' finden die von je zwei der Schmelzöfen kommenden Flammen ihren direkten Weg nach dem Kamin, von dem man sie mittels des Schiebers b beliebig absperren kann. Je nachdem man den Schieber mehr oder weniger schließt, sind die gesamten Flammen oder ein Teil von ihnen gezwungen, in einem mit dem ins Freie führenden Schacht d umbauten eisernen Rohr c aufzusteigen und durch dieses, hernach durch den Trockenraum geführte, eiserne Rohr, von denen nur eines vollständig ausgezeichnet ist, nach dem Kamin zu strömen. Auch der Schacht d befindet sich bereits innerhalb des Trockenraumes. Da er an seinem Fuße eine durch einen Schieber zu regulierende Öffnung hat, saugt die in ihm durch das eiserne Rohr erwärmte aufsteigende Luft die Luft der Trockenkammer an und aus ihr hinaus, erneuert sie also fortwährend. Indem nun dafür gesorgt ist, daß ununterbrochen frische Luft von der Decke her in die Kammer eintreten kann, in der Art, wie wir es in der äußeren rechts oben auf der Abbildung

wiedergegebenen Ansicht der Kammer erkennen können, auf welcher die vier g ihre Einfallsöffnungen in dieselbe bezeichnen, erwärmt sich diese Luft beim Auffallen auf den wagerechten Teil der heißen eisernen an der Decke entlanggeführten Rohrleitung, trocknet die weiter unten liegenden Stoffe, und zieht mit Feuchtigkeit beladen vom Boden her durch die erwärmten Schächte wieder hinaus. Daher ist der Erfolg dieses Trockensystems ein ausgezeichneter.



341. Ausnutzung der Abhitze.

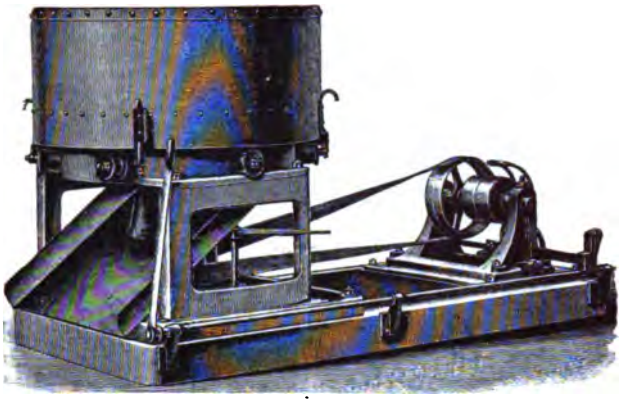
Die fertigen Schmelzen läßt man 6—12 Stunden erkalten, worauf man sie zerschlägt und einer methodischen Auslaugung unterwirft. Man bedient sich hierzu zuerst des beistehenden Apparates (Abb. 342). Auf den falschen Boden des Reservoirs bringt man etwa 1500—1600 kg Schmelze, füllt das Reservoir mit schwacher Lauge (s. weiterhin) und läßt dann, nachdem man noch etwas gebrannten Kalk als Klärmittel zugesetzt hat, durch die Rohrleitung Dampf ins Reservoir treten. Nach einigen Stunden wird gerührt, bis alles Ungelöste durch das Sieb gefallen ist, unterhalb dessen es sich als feiner Schlamm ablagert.



342. Auslaugebottich mit Dampfzuführung und falschem Boden.

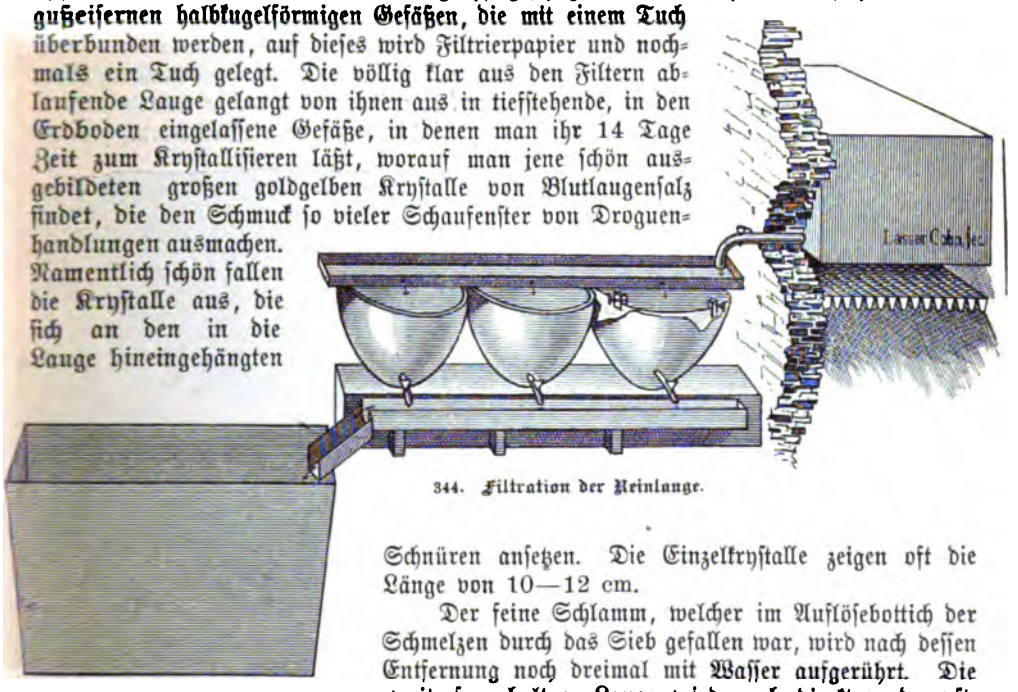
Während dieser Auflösung findet die Blutlaugensalzbildung statt. Die Schmelze selbst enthält es nicht, sondern Cyankalium. Wenn aber Cyankalium mit Eisenverbindungen in Gegenwart von Wasser in Berührung kommt, und, wie wir wissen, enthalten die Schmelzen Schwefeleisen, so setzt es sich mit diesen sogleich zu Eisencyankalium oder Ferrocyankalium um, und Ferrocyankalium ist der wissenschaftliche Name für das Blutlaugensalz. Die auf diesem Wege erhaltene Lauge pumpt man in die Pfannen auf den Schmelzöfen, wo man sie bis zu einer bestimmten Konzentration, nämlich 32° Baumé, abdampft, und läßt sie hernach in niedriger stehenden Reservoiren, in die man sie hat laufen lassen, erkalten. Dabei bedecken sich die Wände der Gefäße schon während des Abkühlens mit Blutlaugensalz-

kryſtallen, von denen nach einigen Tagen die Mutterlauge abgezogen wird. Das erhaltene ſchuppenförmig kryſtalliſierte Salz befreit man ſodann durch Ausſchleudern in einer Zentrifuge von der ihr noch anhaftenden Mutterlauge.



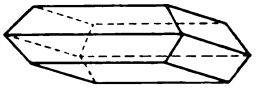
343. Zentrifuge von C. G. Haubold jr. in Chemnitz.

Eine ſolche Zentrifuge iſt womöglich mit der eleganten Untenentleerung, wie ſie C. G. Haubold jr. in Chemnitz liefert, verſehen. Das ſo erhaltene Salz iſt jetzt 80prozentig und wird durch nochmaliges Löſen in Waſſer und Filtrieren der Löſung gereinigt (ſ. Abb. 344). Die Auflöſung nimmt man in einer Pfanne vor, in welcher man Waſſer bis zum Sieden erhitzt hat, worauf man das Rohſalz einträgt, das ſich raſch löſt. Eine Rohrleitung führt dieſe Löſung durch eine Wand hindurch zum Filtrierapparat, der in einem vor Staub möglichſt geſchützten Raume ſteht. Er beſteht aus drei gußeiſernen halbkugelförmigen Gefäßen, die mit einem Tuch überbunden werden, auf dieſes wird Filtrierpapier und nochmals ein Tuch gelegt. Die völlig klar aus den Filtern ablaufende Lauge gelangt von ihnen aus in tiefſtehende, in den Erdboden eingelaſſene Gefäße, in denen man ihr 14 Tage Zeit zum Kryſtalliſieren läßt, worauf man jene ſchön ausgebildeten großen goldgelben Kryſtalle von Blutlaugenſalz findet, die den Schmuck ſo vieler Schaufenſter von Droguenhandlungen ausmachen. Namentlich ſchön fallen die Kryſtalle aus, die ſich an den in die Lauge hineingehängten Schnüren anſetzen. Die Einzelkryſtalle zeigen oft die Länge von 10—12 cm.



344. Filtration der Reinlauge.

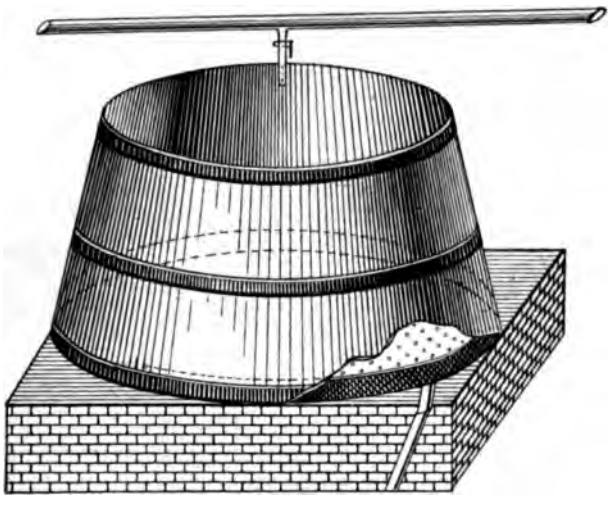
Der feine Schlamm, welcher im Auflöſebottich der Schmelzen durch das Sieb gefallen war, wird nach deſſen Entfernung noch dreimal mit Waſſer aufgerührt. Die zweite ſo erhaltene Lauge wird auch direkt verdampft. Die ſpäteren dienen an Stelle von Waſſer zum Auflöſen friſcher Schmelzen. Der auf dieſem Wege ſchon faſt ausgewaſchene Satz gelangt in hölzerne Bottiche mit ebenfalls falſchem Boden, in denen ſo lange Waſſer auf ihn rieſelt, bis es ſchließlich aus ihm nichts mehr auszulaugen vermag. Auch dieſe ſehr verdünnten Laugen dienen an Stelle von Waſſer zum Auflöſen neuer Portionen Schmelze.



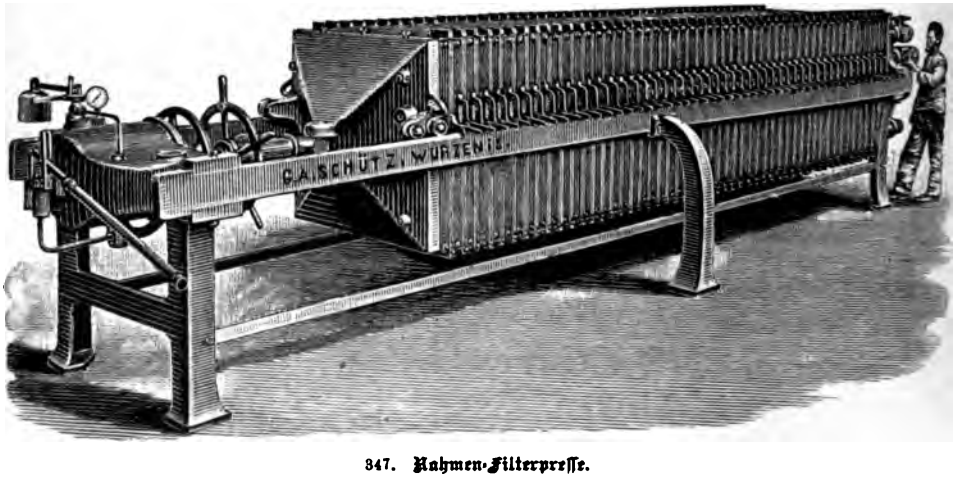
345. Kryſtallform des gelben Blutlaugenſalzes.

Der jetzt bleibende Rückſtand, der alſo der Satz genannt wird, war ehemals faſt wertlos, er mußte als billiges Dünge-

mittel auf die Felder geworfen werden. Heutzutage hat sich das aber gänzlich geändert. Wenn wir uns überlegen, wie er entstanden ist, so müssen wir uns sagen, daß er sehr reich an feinverteilter Tierkohle sein wird, die sich aus den tierischen Stoffen, als sie in die glühende Pottasche eingerührt wurden, in der hohen Temperatur abschied, und in der Schmelze durch die geschmolzene Pottasche eingehüllt aus Mangel an Luft nicht verbrennen konnte. Daß Tierkohle, d. h. also aus tierischen Stoffen herstammende Kohle, eine stark entfärbende Kraft hat, ist lange bekannt, und die Verwendung der Knochenkohle in der Zuckerindustrie ist ja ausführlich im Bande IV dieses Werkes besprochen worden. Man hat nun seit etwa 20 Jahren herausgefunden, daß sich gerade dieses Abfallprodukt der Blutlaugenfabrikation vorzüglich zum Entfärben wachsähnlicher Stoffe eignet, und so wandert es jetzt massenhaft nach Galizien zum Entfärben des dort gewonnenen Erdwachses, das wir bei der Kerzenfabrikation näher kennen lernen. Einen bei weitem geringeren Teil davon verbraucht die Paraffinindustrie Mitteldeutschlands.



346. Auslaugung des Satzes.

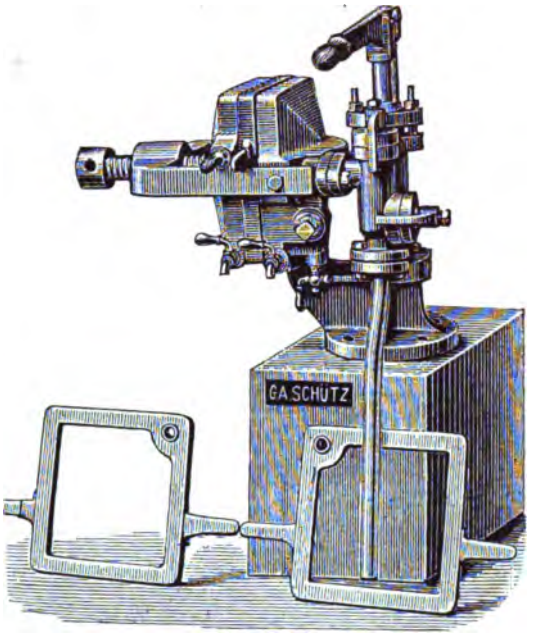


347. Rahmen-Filterpresse.

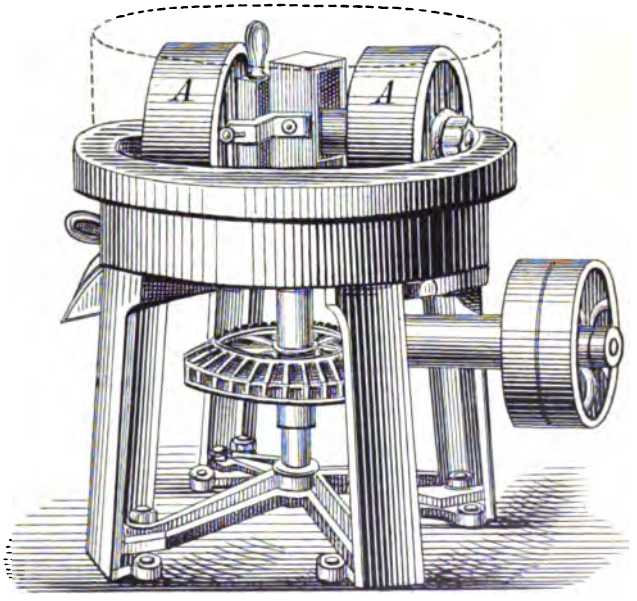
Sein Preis ist infolgedessen im Laufe der Jahre sehr gestiegen, und dies ehemals wertlose Produkt ein wichtiger Faktor bei der Berechnung der Rentabilität solcher Fabriken geworden.

Die Überführung des Satzes in versandfähige Ware ist keine schwierige. Der aus den Bottichen kommende völlig ausgelaugte Rückstand wird einige Monate an der Luft liegen gelassen. Während dieser Zeit oxydiert sich namentlich das in ihm vorhandene Schwefeleisen zu schwefelsaurem Eisen, und dies veranlaßt wiederum die Bildung von schwefelsaurem Kali im Haufen. Die Wärmeentwickelung steigt dabei so hoch, daß man kaum die Hand hineinhalten kann. Ist die Oxydation beendet, so wird das Pulver nochmals mit Wasser übergossen und jetzt vermittelst einer Filterpresse alles nun wiederum Lösliche ausgelaugt. Derartige Filterpressen werden heutzutage in der chemischen Industrie für

die verschiedenartigsten Stoffe benutzt. Sie bestehen, wie es sehr gut auf der Laboratoriumsfilterpresse zu erkennen ist, aus einer großen Anzahl von Kammern, die sich aus Rahmen zusammensetzen, welche mit Filtriertuch glatt überzogen werden. So vorbereitet, werden alle Rahmen mit Hilfe einer starken Spindelpresse fest zusammengezogen, und nun wird mittels einer Schlammpumpe zwischen sie das auszulaugende Material gepumpt. Das Feste bleibt zwischen den Filtriertüchern liegen, während das Flüssige durch diese hindurchgeht und durch die Hähne abläuft. Sind alle Kammern gefüllt, so kann man durch Hahnumstellung jetzt Wasser durch die Filtriertücher eintreten lassen und so den Inhalt der Rahmen völlig auswaschen. Man arbeitet in der Praxis mit etwa sechs Atmosphären Überdruck, welchen die Pumpe ausübt. Die Preßkuchen fallen nachher sehr hart aus und können leicht aus den geöffneten Kammern als ein massives Stück entfernt werden. Indem man als Material der Kammern statt Holz Phosphorbronze und ähnliche gegenüber Säuren und Alkalien möglichst beständige Metallgemische verwendet, kann man auch saure und alkalische Flüssigkeiten so filtrieren, und so hat man sogar Laboratoriumsfilterpressen, die ganz besonders widerstandsfähig, nicht nur gegen chemische Einflüsse, sondern auch gegen Druck gebaut sind. Die hier abgebildeten Exemplare sind in der Fabrik von G. A. Schütz in Wurzen hergestellt, und in der Laboratoriumsfilterpresse kann man bis zu einem Druck von 15, selbst 20 Atmosphären gehen, ohne daß das zu Filtrierende zwischen den Rahmen herausspritzt. Die aus den Filterpressen der Blutlaugensalzfabriken herauskommenden Kuchen werden auf einem Kollergang mit eisernen Läufern A A, damit keine gröberen Stücke in ihnen bleiben, zerquetscht und sodann gesiebt, womit sie unter dem Namen Entfärbungspulver fertige Handelsware sind. Man muß eiserne Läufer verwenden, weil die Steine gewöhnlicher Kollergänge durch die im Pulver vorhandenen Eisenspäne, welche man doch der ursprünglichen Schmelze zur Schonung der Schmelzschalen zusetzen muß, sehr rasch



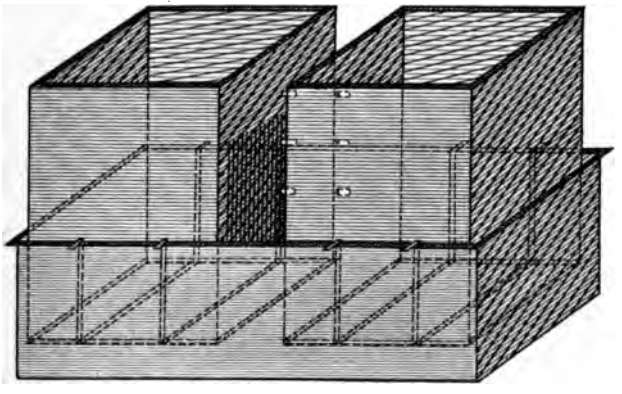
348. Laboratoriumsfilterpresse.



349. Kollergang.

zerstört werden. Ein Kollergang ist bekanntlich eine Mahlvorrichtung, bei welcher die aufrechtgestellten Mühlsteine A A, auf einer harten Unterlage umlaufend, auf diese geworfenes Material zerquetschen.

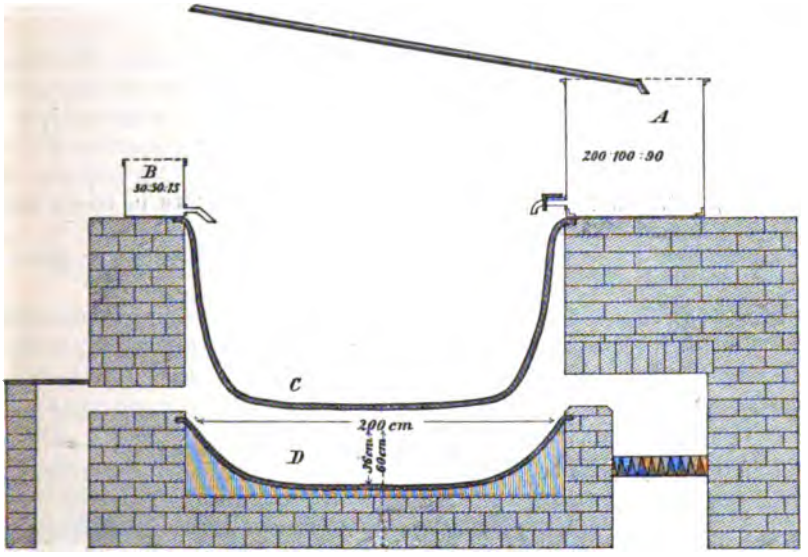
Wir haben uns nun noch mit den Schicksalen der Mutterlauge zu beschäftigen, die vom rohen Blutlaugensalz abgezogen wurde. Da sie immer noch drei bis vier Gramm von diesem im Liter enthält, dampft man sie jetzt auf etwa zwei Drittel ihres Volumens ein. Nach einigen Tagen hat sich dann an den Wänden der Gefäße, in denen sie wieder erkaltete, ein graues etwas schmieriges Salz abgesetzt, welches den Rest des Blutlaugensalzes enthält. Man muß es tagelang auf falschen Böden abtropfen lassen, wozu nebenstehende Einrichtung dient, in dessen zwei hohlstehende Reservoire es geworfen wird, bis es konsistent genug ist, um auch seinerseits in der Zentrifuge ausgeschleudert werden zu können. Man kristallisiert es aus Wasser um, worauf sich ein Rohsalz ausscheidet, das mit dem anderen zusammen auf Reinsalz verarbeitet werden kann. Die nach der Abscheidung des Schmiersalzes von Blutlaugensalz freie Lauge enthält jetzt die gesamte nicht in dieses übergeführte Pottasche nebst vielen fremden Kalisalzen, z. B. Schwefelkalium, dessen Schwefel aus den Tierstoffen stammt, kieselsaurem Kali, das seinen Ursprung dem Sandgehalt — Sand ist Kieselsäure — der Lumpen verdankt u. s. w. Die Bildung des kieselsauren Kalis ist besonders unerwünscht, da sie aus Gründen, deren schwierige chemische Erklärung uns zu weit führen würde, einen großen Verlust an Kali herbeiführt, indem sie dessen Übergang in unlösliche Verbindungen, die dann im Satz bleiben, veranlaßt, so daß dieses Kali für die Blutlaugensalzfabrikation verloren geht. Die Lauge muß nun, um ihren Pottaschegehalt wieder in den Betrieb zurückführen zu können, möglichst eingedampft und schließlich calciniert werden. Das geschieht ganz allgemein in Flammöfen folgender Konstruktion. Aus den Vorratsreservoiren A und B läuft die Lauge in den tiefen gußeisernen Kessel C, der direkt gefeuert wird. Ist die Lauge in ihm genügend eingedampft, das heißt sind hier aus ihr genügend fremde Salze in der Hitze auskristallisiert, wodurch wenigstens eine teilweise Reinigung erzielt wird, indem man diese möglichst herausfischt, so läßt man sie in den Flammofen D hinunter, dessen Sohle durch eine flache gußeiserne Schale gebildet wird. In dieser tritt sehr bald Calcination ein. Die Lösung wird teigig, allmählich klumpig und zuletzt ziemlich fest. Jetzt wird sie aus dem Ofen gezogen und wandert in diesem Zustande, in dem sie rotblau aussieht, zurück zu den eigentlichen Schmelzöfen, sie enthält nur 6 % Wasser. Hier wird sie unter Zugabe frischer Pottasche neuerdings der Fabrikation dienstbar gemacht, indem sie also wiederum mit eingeschmolzen wird.



350. Abtropfkästen für Schmiersalz.

Darstellung von Blutlaugensalz mit Hilfe des Stickstoffs der Luft. Wir haben vorhin erfahren, daß sich in der Schmelze aus Pottasche und Tierstoffen Cyankalium bildet. Dies entsteht in ihr so, daß der Stickstoff, welcher mit den Tierstoffen in die Schmelze gelangt, sich dort mit dem Kalium der Pottasche und Kohle zu Cyankalium vereinigt. Die Formel des Cyankaliums ist KCN, es besteht also aus einem Atom Kalium, einem Atom Kohlenstoff und einem Atom Stickstoff. Folglich liegt der Gedanke nicht allzufern, den scheinbar so billigen Stickstoff der Luft, die Luft besteht ja zu vier Fünfteln aus diesem, für seine Fabrikation verwerten zu wollen. Darüber ist denn unendlich viel gearbeitet worden. Diejenigen Erfinder, die einen scheinbaren Erfolg erzielt zu haben glaubten, ließen sich ihre Entdeckungen patentieren, und so findet

man bis vor etwa zehn Jahren in der Patentlitteratur Deutschlands, Englands und Frankreichs zahlreiche — es sind sicher zwanzig bis dreißig — Verfahren für diesen Zweck ausführlich beschrieben und oft mit solcher Sicherheit als völlig durchgearbeitet hingestellt, daß wenigstens auf diesen Papieren die Frage gelöst erscheint. Zumeist soll so gearbeitet werden, daß Holzkohle mit einer Pottaschelösung getränkt und nach dem Trocknen in einem Cylinder möglichst stark erhitzt wird. Durch die glühende Masse wird sodann Stickstoff geleitet, und nun steht wenigstens auf dem Papier nichts mehr im Wege, daß sich bei der hohen Temperatur jetzt Kohlenstoff C, Kalium K (aus der Pottasche) und der Stickstoff N zu KCN, zu Cyankalium, vereinigen. In der Praxis aber hat sich das Verfahren immer wieder als undurchführbar erwiesen. Welche Summen Geldes auf derartige sehr kostspielige Versuche verwendet worden sind, entzieht sich jeder Schätzung, zumal ja von den Unternehmungen, die vor der Anmeldung zum Patent bereits wieder fallen gelassen wurden, und das ist sicher die weit größere Zahl, überhaupt nichts bekannt geworden ist. Readman hat sich nun auch im Jahre 1894 ein englisches Patent (No. 6621) darauf geben lassen, daß er das Erhitzen der mit Pottasche getränkten Holzkohle vermittelst



351. Ofen zur Wiedergewinnung der Betriebspottasche.

des elektrischen Flammbogens bewirkt, also glücklich einen elektrischen Ofen für diesen Zweck konstruiert, durch den dann der Stickstoff geleitet wird.

Darstellung von Blutlaugensalz aus Gasanstaltsabfällen. Die technische Darstellung von Cyankalium resp. Blutlaugensalz unter Verwendung des Stickstoffs der Luft nebst Pottasche als Quelle für das Kalium erscheint dem Verfasser undurchführbar. Dagegen ist in einem Abfallprodukt der Gasanstalten ein für dessen Darstellung geeignetes Ausgangsmaterial gefunden worden, mit dem die alte Blutlaugensalzfabrikation ernstlich zu rechnen hat. Wir wissen, daß die meisten Blutlaugensalzfabriken sich ursprünglich mit der Darstellung von Hirschhornsalz, d. i. kohlensaures Ammoniak, beschäftigten und nur die hierbei abfallende Tierkohle auf Blutlaugensalz verarbeiteten. Den ersten Teil der Fabrikation haben, wie erwähnt, die Gasanstalten längst unlohnend gemacht, und vielleicht führen sie jetzt auch den Ruin der zweiten und damit das Ende dieser alten Industrie herbei.

Während tierische Stoffe sehr reich an Stickstoff sind, Horn, Wolle, Blut enthalten etwa 16 % von ihm, findet er sich im Holz und in den sonstigen Produkten des Pflanzenwuchses nur spurenweise. Eine geringe Menge von diesem ist aber selbst in den Steinkohlen, die doch die Überreste ehemaliger Wälder repräsentieren, erhalten geblieben und macht bei

der Riesenmenge von Steinkohlen, die alljährlich die Gasanstalten verarbeiten, trotzdem ein gewaltiges Quantum aus. Der größte Teil dieses Stickstoffs geht bei der Hitze, in welcher aus den Steinkohlen die gasförmigen Produkte ausgetrieben werden, wir lernen später die Fabrikation des Gases ausführlich kennen, als solcher fort, ein Teil geht in Ammoniak über, ein weit kleinerer Teil in Cyanverbindungen. Bei der Reinigung des Gases häufen sich die Cyanverbindungen in der sogenannten Lamingschen Masse an. Diese besteht hauptsächlich aus Eisenoxydhydrat und dient eigentlich zur Entfernung des Schwefels, hält aber auch Cyanverbindungen fest. Diese Cyanverbindungen gehen nun, wenn man die Masse mit Alkalien auslaugt, in Lösung. Natürlich bedient man sich zum Auslaugen des billigsten Alkalis, man verrührt sie also mit Kalkmilch und zieht dann das löslich Gewordene aus dem Brei mit Wasser aus. Die erhaltene stets recht schwache Lauge, es scheint unmöglich zu sein, sogleich konzentrierte Laugen zu gewinnen, enthält nun nicht Blutlaugensalz, Ferrocyankalium, sondern, da an Stelle des Kalis Kalk verwendet worden ist, Ferrocyancalcium. Nun kommt die weitere Aufgabe, aus der sehr unreinen, an Ferrocyancalcium ziemlich armen Lauge — bei der Verarbeitung der Lamingschen Masse auf die aufgegebene Art gehen die verschiedenartigsten Substanzen in Lösung — reines Blutlaugensalz zu gewinnen.

Ursprünglich verfuhr man hierzu so, wie etwa 180 Jahre früher Diesbach zuerst Berliner Blau dargestellt hat, man säuerte die Lauge an und setzte ihr eine Eisenlösung zu, dann fällt Berlinerblau aus. Dieses Blau ist in diesem Fall natürlich derartig unrein, daß es als Farbe absolut wertlos ist. Kocht man es aber mit Pottasche, so bindet die Kohlensäure derselben das Eisen, während das Kali an das Ferrocyan geht und mit ihm Blutlaugensalz, Ferrocyankalium, bildet, das nach dem Eindampfen in reinen Kryställen anschießt.

Berliner Blau + Pottasche = Blutlaugensalz + Kohlensaures Eisen
(Ferrocyaneisen) (Kohlensaures Kali) (Ferrocyankalium).

Nimmt man an Stelle von Pottasche Soda als kohlensaures Natron, so erhält man statt Ferrocyankalium Ferrocyannatrium, und da Soda billiger ist als Pottasche, so stellt man jetzt Ferrocyannatrium auf diesem Wege dar.

Berliner Blau + Soda = Ferrocyannatrium + Kohlensaures Eisen
(Ferrocyaneisen) (Kohlensaures Natron).

und dieses ist seit Ausnutzung des Cyangehaltes der Gasmassen Handelsprodukt geworden. Im alten Schmelzverfahren an Stelle von Pottasche Soda, also kohlensaures Natron, zu verwenden, ist unmöglich, weil die Ausbeuten an Ferrocyannatrium bei diesem Verfahren alles zu wünschen lassen. Es ist dieses eines der markantesten Beispiele, daß, so ähnlich Pottasche und Soda einander in chemischer Beziehung auch sind, sie sich doch nicht in allen Industrien, wenn es auch in sehr vielen der Fall ist, vertreten können.

Diese nicht gerade sehr geistreiche mitgeteilte Art der Verarbeitung der aus Lamingscher Masse erhaltbaren cyanhaltigen Lauge ist dann durch ein patentiertes Verfahren abgelöst worden, welches in folgendem besteht. Man setzt zur rohen Ferrocyancalciumlauge eine Lösung von Chlorkalium. Dann scheidet sich ein in Wasser fast unlösliches Doppelsalz, nämlich Ferrocyancalciumkalium sogleich im Zustande ziemlicher Reinheit als weißes Salz aus. Kocht man hernach dieses Salz mit Pottaschelösung, so erhält man, neben dem sich unlöslich abscheidenden kohlensauren Kalk, eine Lösung von Blutlaugensalz, nämlich:

Ferrocyancalciumkalium + Kohlensaures Kali = Ferrocyankalium + Kohlensaurer Kalk.

Die Eleganz des Verfahrens liegt auf der Hand, es scheidet aus der Rohlauge ein schon an sich recht reines Doppelsalz ab, das außerdem bereits die Hälfte des notwendigen Kaliums enthält, und dazu entstammt diese Hälfte dem Chlorkalium, welches weit billiger als Pottasche ist.

Drittens kann man nach des Verfassers Erfahrungen die Lauge auch sehr gut in folgender Art verarbeiten. Man setzt zur Rohlauge, die also Ferrocyancalcium enthält, eine Portion Kochsalz, das ist Chlornatrium. Dampft man sie jetzt bedeutend ein, so tritt bei einer gewissen Konzentration Umsetzung zwischen diesen beiden Salzen ein, und

schon in der Hitze scheidet sich aus der Flüssigkeit Ferrocyannatrium aus, das Salz soggt aus, wie man diesen Vorgang in der Technik bezeichnet. Während es für gewöhnlich mit zwölf Molekülen Wasser in großen, gelben Krystallen anschießt, fällt es hier in der Hitze als wasserfreies Pulver zu Boden, das durch Umkrystallisieren dann in die Handelsware, also in das mit 12 Molekülen Wasser krystallisierende Ferrocyannatrium übergeführt wird. Das gelbe Blutlaugensalz krystalliſiert, was wir bisher nicht erwähnt haben, mit 3 Molekülen Krystallwasser.

Einfuhr und Ausfuhr des Deutschen Reiches an Blutlaugensalz in Mengen von 100 kg. Man nennt im Handel das gelbe Blutlaugensalz auch gelb-blausaures Kali, die Natriumverbindung gelb-blausaures Natron.

Gelb-blausaures Kali			Gelb-blausaures Natron		
Jahr	Einfuhr	Ausfuhr	Jahr	Einfuhr	Ausfuhr
1890	125	3063	1890	—	799
1892	505	2192	1892	23	1086
1894	305	1778	1894	16	1524
1896	133	4431	1896	66	2316

Das Blutlaugensalz dient hauptsächlich zwei Zwecken, nämlich der Darstellung des Berliner Blaus und des Cyankaliums. Hieran schließt sich dann noch als dritter seine Überführung in rotes Blutlaugensalz, von welch letzterem Salz jetzt aber nur noch unbedeutende Quantitäten gebraucht werden. Nachdem lange Zeit 100 kg Blutlaugensalz etwa 200 Mark wert gewesen waren, ist es in den letzten Jahren auf 90 bis 95 Mark gefallen.

Das Berliner Blau. Das Berliner Blau bildet sich, wie wir öfters erwähnen mußten, bei Zugabe einer Eisenlösung zu einer Lösung von Blutlaugensalz. So einfach hiernach seine Darstellung in der Theorie erscheint, so schwierig gestaltet sie sich in der Praxis.

Setzt man zur Blutlaugensalzlösung z. B. eine Eisenchloridlösung, so erhält man einen blauen Niederschlag, der nach dem Auswaschen und Trocknen einen Stich ins Schwarze zeigt. Die Färber verlangen aber ein Blau mit Röte und Glanz. Dieses feine Blau hat den Namen Pariser Blau erhalten, während man jetzt unter Berliner Blau Farbstoffe versteht, die durch Beschwerung, d. h. durch Zusätze aller Art, um sie billiger liefern zu können, so weit verschlechtert sind, daß Röte und Glanz auf der Bruchfläche nicht mehr erscheinen, sondern daß sie ein rein blaues Aussehen zeigen. Alle Sorten Blau, die aus dem Blutlaugensalz erhaltbar und im Handel gangbar sind, müssen, um dessen Ansprüchen zu genügen, auf einem Umwege dargestellt werden. Man fällt nämlich die sehr verdünnte Blutlaugensalzlösung mit einer ebenfalls sehr verdünnten Lösung von Eisenvitriol. Eisenvitriol ist ein Eisenoxydulsalz, und die Eisenoxydulverbindung des Ferrocyans sieht weiß aus. Oxydiert man sie aber nachträglich, so nimmt die weiße Verbindung nun das wundervolle Aussehen an, welches die Färber und auch die Buntpapierfabrikanten verlangen. Jenes schöne dunkelblaue Papier, mit dem so viele Pappschachteln beklebt werden, das beim Hinaufsehen eine Art von rötlichem Metallglanz zeigt, wird z. B. mit solchem Pariser Blau hergestellt.

Um mit den in der notwendigen Weise verdünnten Lösungen arbeiten zu können, benutzt man Bottiche von etwa 20000 l Inhalt für je 100 kg Blutlaugensalz. Hat sich in ihnen der durch Eisenvitriol erzeugte Niederschlag abgesetzt, so läßt man die überstehende Flüssigkeit ablaufen, bringt den breiigen Niederschlag in eine kleinere Bütte und oxydiert ihn nun hier zum eigentlichen Blau. Bei der großen Anzahl von Oxydationsmitteln, die es gibt, kann man auf sehr verschiedene Weise arbeiten, kein Mittel hat bisher alle übrigen aus dem Felde geschlagen. Die Ausführung dieser Oxydation ist der schwierigste Punkt der Fabrikation, und Sicherheit in ihrer Handhabung ist nur durch jahrelange Übung zu erreichen. Die hellsten Sorten, die man darzustellen vermag, führen den Namen Stahlblau hell hell, sie sind die bei weitem teuersten und finden fast nur in Lyon zur Seidenfärberei Verwendung. Dann kommt Pariser Blau, und daran schließen sich die Berliner Blaue. Als Beschwerung der Farbe dient zumeist Stärkemehl, das man

ihr zumischt, aber auch Gips und andere weiße Substanzen werden verwendet. Die Menge der Beschwerung wird seitens der Fabrikanten stets in der Höhe, wie sie die Händler wünschen, hineingemischt. Im ganzen sind fünfzig Sorten Blau vom Stahlblau bis zu dem schließlich mit 80 % Stärke beschwerten Blau, mit welchem die russischen Bauern ihre Ostereier und ähnliches färben, und das nur um diese Jahreszeit verlangt wird, im Handel. Man kann die Blaue sowohl wasserunlöslich wie wasserlöslich herstellen. Die Verwendung der Blaue aus Blutlaugensalz geht in Europa immer mehr zurück, indem sie von den billiger sich stellenden, bequemer zu handhabenden Anilinblauen verdrängt werden. Anders liegt die Sache im Orient. Zu Zehntausenden Kilogramm monatlich gehen sie nach Indien, nach China und Japan und dienen hier zum Färben von Seidenzeugen. Der Grund, aus welchem gerade jene Tropenländer an diesen Farben festhalten, ist ein sehr merkwürdiger. Die dortige Sonne muß doch auf alle Farben sehr stark bleichend wirken, und Anilinfarben widerstehen ihr in nur geringem Maße. Das Berliner Blau wird natürlich auch von ihrem hellen Lichte gebleicht, es nimmt aber seine ursprüngliche Farbe, die es bei Tage eingebüßt, teilweise während der Nacht, also im Dunkeln, wieder an, so daß es sich durch diese, soweit dem Verfasser bekannt, keiner anderen Farbe irgend welcher Herkunft zukommende Eigenschaft für jene Länder ganz besonders eignet.

Im Jahre 1896 betrug die Einfuhr an Berliner Blau ins Deutsche Reich 260600 kg, die Ausfuhr 797600 kg.

Das Cyankalium. Erhitzt man Blutlaugensalz also Ferrocyankalium bis zum Schmelzen, so tritt Zerfall dieser Verbindung ein. Das in ihm enthaltene Eisen nebst etwas Kohle scheiden sich ab, und über diesem schwarzen Niederschlage steht die in der Glut klare Flüssigkeit, die beim Erkalten zu einer rein weißen Masse, dem Cyankalium, erstarrt. Diese über dem Bodensatz stehende klare Flüssigkeit wird von ihm, so gut es geht, abgegossen. Um auch das Cyankalium aus dem Bodensatz zu gewinnen, wird letzterer zerschlagen und mit Schwefelkohlenstoff ausgekocht. In diesem löst es sich und hinterbleibt, wenn man ihn abdestilliert, als weiße Masse. Das so erhaltene Cyankalium wird dann ebenfalls noch geschmolzen. Auf diesem Wege bereitet, ist es 100 %ig, also völlig rein, aber $^1/_3$ des im Blutlaugensalz vorhandenen Cyans wird bei diesem Verfahren unter Ausscheidung von Kohle und Eisen zerstört. Die Ausbeute an Cyankalium wird besser, indem weniger Cyan zerstört wird, wenn man nach Liebigs Vorschlag das Blutlaugensalz vor dem Schmelzen mit Pottasche mischt. Man bekommt dann das sogenannte Liebigsche Cyankalium, welches allerdings nicht 100 %ig ist. Die Gründe, aus denen der Pottaschezusatz die Ausbeute vermehrt, sind zu kompliziert, um hier auseinandergesetzt werden zu können. Neuerdings stellt man auch 100 %iges Cyannatrium unter quantitativer Ausnutzung des Cyangehaltes des Ferrocyannatriums (s. oben S. 347) dar, indem man dieses mit dem jetzt sehr billig gewordenen Metall Natrium zusammenschmilzt.

$$\underset{\text{Ferrocyannatrium}}{Fe(CN)_6Na_4} + \underset{\text{Natrium}}{Na_2} = \underset{\text{Cyannatrium.}}{6\,NaCN} + Fe$$

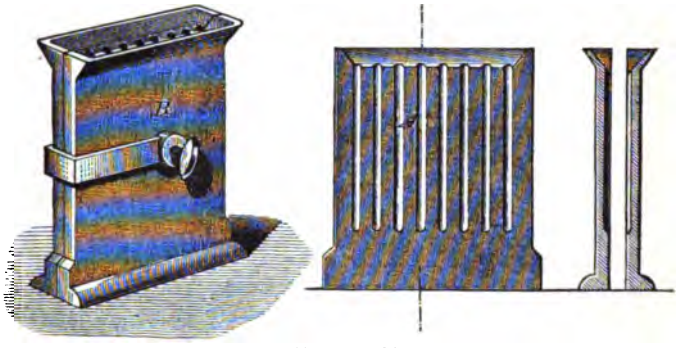
Ob das Cyannatrium aber überall an Stelle des Cyankaliums treten kann, muß erst die Zeit entscheiden.

Das Cyankalium gehört zu denjenigen Chemikalien, welche meist in Stangenform in den Handel gebracht werden, weil sie so bequem in passende Stücke zerbrochen und leicht abgewogen werden können, während, wenn man die feurig flüssige Masse in flachen Kästen erstarren läßt, das Zerbrechen der festen Kuchen nachher eine recht mühsame, in unserem Falle wegen der Giftigkeit des Cyankaliums eine gefährliche Arbeit ist. Solche für das Gießen benutzte Stangenform B besteht aus zwei Teilen A, von denen jeder die Hälfte der etwa 4 mm starken 6 Bohrungen trägt. Schraubt man die beiden Teile aneinander, so hat man jetzt 6 Stangenformen, die zwar unter sich nicht zusammenhängen, aber über sich eine gemeinsame Rinne haben. Durch Eingießen des geschmolzenen Cyankaliums in diese gelingt es leicht, sie alle zu füllen. Sind die Stangen erstarrt, so nimmt man die Form auseinander, sprengt sie mit einem Messer von ihrem „verlorenen Kopfe" ab und nimmt die fertigen Stangen aus dem zweiten Teil der Form, an welchem sie haften geblieben waren, heraus. Die verlorenen Köpfe werden wieder eingeschmolzen. Ein

Arbeiter kann, unterstützt von einem Handlanger, im Laufe des Tages etwa 10 bis 12 kg in Stangen gießen.

Das Cyankalium, das Kalisalz der Blausäure, ist, wie aus seiner Darstellung folgt, ein sehr feuerbeständiges Salz. Im Gegensatz dazu geht ihm die Beständigkeit in wässeriger Lösung sehr ab. Liegt es auch nur an der Luft, so zieht es aus ihr Feuchtigkeit an, und die Kohlensäure der Luft verwandelt es allmählich in kohlensaures Kali, während Blausäure entweicht. Die Blausäure, jene wegen ihrer außerordentlichen Giftigkeit so bekannte Säure, ist eine wasserhelle Flüssigkeit. Sie ist zuerst aus dem Berliner Blau dargestellt worden, hieß deshalb Berliner Blausäure, welchen Namen in abgekürzter Form sie dann dauernd behalten hat. Das Cyankalium, also ihr Kalisalz, ist ebenso giftig wie sie selbst. Bis zur Mitte des Jahrhunderts fand es nicht einmal in den Laboratorien der Chemiker viel Verwendung. Seitdem sich dann aber gezeigt hat, daß es in einigen Beziehungen in der Technik ganz unersetzlich ist, wird es in größten Mengen verwendet. Man hört dort eigentlich nie von Unglücksfällen, die es infolge seiner enormen Giftigkeit herbeiführt, indem die mit ihm Hantierenden sich durch die lange Übung vor seinen schädlichen Wirkungen zu schützen wissen.

Die Fabrikation des Cyankaliums nahm ihren großen Aufschwung, seitdem Christofle zu Paris die echte Versilberung der Neusilberwaren einführte, an die sich dann bald die Versilberung weit billiger als das Neusilber herzustellender weißer Metallgemische schloß. Diese Versilberung erfolgt bekanntlich auf galvanoplastischem Wege, indem man die Eigenschaft des elektrischen Stromes, chemische Verbindungen zu zerlegen, hierfür verwendet. Der elektrische Strom zerlegt z. B. die Lösungen von Metallsalzen so, daß er am positiven Pol die Säure, am negativen das Metall ausscheidet. Dies ist zuerst ausführlich am schwefelsauren Kupfer studiert worden. Zugleich fand man, daß unter Einhaltung bestimmter Bedingungen der Niederschlag sich nicht pulverig ausscheidet, sondern den betreffenden Pol ganz gleichmäßig und festanhaftend bedeckt, ihn also verkupfert. Überträgt man diese Erfahrungen auf die Lösungen anderer Metalle, so kann man auf diesem Wege auch versilbern, vergolden, vernickeln, wie das ja heute massenhaft geschieht. Während man also brauchbare Verkupferungen mit einem so leicht zugänglichen Salz, wie es das schwefelsaure Kupfer, der Kupfervitriol, ist, erhält, liegen die Verhältnisse bei anderen Metallen nicht ganz so bequem. Das am leichtesten darstellbare Silbersalz ist z. B. der Höllenstein. Man erhält ihn, wenn man Silber mit Salpetersäure kocht. Während des Kochens löst sich das Metall auf, und in der Lösung hat man jetzt salpetersaures Silber, welches, wenn man die Flüssigkeit zur Trockne dampft, als weißes Salz zurückbleibt. Das salpetersaure Silber hat, nebenbei bemerkt, seinen uralten Namen Höllenstein deshalb erhalten, weil es selbst und weil auch alles, was man mit seiner Lösung bestreicht, im Tageslicht bald schwarz wird. Dies rührt daher, daß es durch das Licht verändert zersetzt wird, wobei sich Silber als außerordentlich feines schwarzes Pulver ausscheidet. Versucht man mit salpetersaurem Silber in der Art, wie mit dem schwefelsauren Kupfer das Verkupfern gelingt, auf galvanoplastischem Wege andere Metalle mit Silber zu überziehen, so sind die Resultate wenig erfreuliche. Das Silber scheidet sich zumeist nämlich als graues, auf der Unterlage nicht haftendes Pulver aus. Selbstverständlich begab man sich nunmehr auf die Suche nach Silberlösungen, die das Silber ebenso schön galvanoplastisch niederzuschlagen gestatten, wie das Kupfer aus dem Kupfer-



352. Stangengußform.

vitriol. Solche Lösungen sind aber, wie man herausfand, nur mittels Cyankalium zu erhalten, und das Cyankalium für das galvanische Versilbern und Vergolden, wie wir gleich hinzufügen können, durch etwas Ungiftiges ebenso Gutes in dieser Fabrikation zu ersetzen, ist bis heute nicht gelungen.

Die Versilberungsflüssigkeit bekommt man z. B. auf folgende Art. Zu einer Lösung von salpetersaurem Silber setzt man eine frisch bereitete Lösung von Cyankalium. Anfangs erhält man einen dicken, seinem Aussehen nach als käsig bezeichneten, weißen Niederschlag von Cyansilber, fährt man aber mit dem Zusatz der Cyankaliumlösung fort, so verschwindet dieser Niederschlag wieder, und die Lösung enthält jetzt das wasserlösliche Doppelsalz von Cyansilber-Cyankalium, welches sich zum tadellosen Versilbern aller Gegenstände auf galvanoplastischem Wege eignet. Bei der großen Ausdehnung, die die Galvanoplastik im Laufe der Zeit erreicht hat, ist daher der Bedarf an Cyankalium allmählich ein recht bedeutender geworden.

Einfuhr und Ausfuhr des Deutschen Reiches an Cyankalium in Mengen von 100 kg

Jahr	Einfuhr	Ausfuhr	Jahr	Einfuhr	Ausfuhr
1890	12	745	1894	6	10475
1892	5	7195	1896	31	6571

100 kg Cyankalium kosteten 1886 etwa 600 Mark, waren Anfang 1896 noch etwa 345 Mark wert, während sie Anfang 1897 zu 200 Mark zu haben waren.

Eine ganz neue Verwendung, die den bis dahin üblichen Bedarf völlig in den Schatten stellt, hat aber das Cyankalium seit Beginn dieses Jahrzehnts gefunden, nämlich im Goldbergbau. Das Verfahren ist auf den Goldfeldern Transvaals ausgebildet worden, und bei dem Interesse, welches man auch in Europa diesem Bergbau entgegenbringt, soll es in seinen Umrissen hier dargelegt werden.

Wie im Abschnitt Metallurgie (siehe in Band V) auseinandergesetzt ist, wurde bis in die neunziger Jahre das Gold aus seinen Erzen fast nur durch mechanische Hilfsmittel oder durch Amalgamation gewonnen. Letzteres bedeutet, daß man die feingestampften Erze mit Quecksilber durcharbeitet, in welchem das Gold sich auflöst, so daß es hernach, wenn aus dem entstandenen Goldamalgam das Quecksilber abdestilliert wird, hinterbleibt. Seit dieser Zeit hat sich das Mac Arthur Forrestsche Verfahren in Transvaal wenigstens ganz allgemein verbreitet. Es beruht auf der Grundlage, daß eine sehr verdünnte Cyankaliumlösung bei Gegenwart von Luft fein verteiltes Gold zu lösen im stande ist, und wird in folgender Art ausgeführt. Das Erz, wie es aus der Grube kommt, wird unter Zugabe von gebranntem Kalk vermahlen. Der gebrannte Kalk dient dazu, um im Erz vorhandene Säuren und schwefelsaure Salze in Verbindungen zu verwandeln, welche auf Cyankalium nicht einwirken, um Verluste an dieser Substanz möglichst zu vermeiden. Das so vorbereitete Material wird weiter mit einer etwa ein halbes Prozent starken Lösung von Cyankalium ausgelaugt. Die Größe der Auslaugegefäße, die man aus Holz oder Zement herstellt, ist enorm, man baut sie bis zu einem Fassungsraum von 400000 l. Allzufeines Erz setzt dem Auslaugen einen solchen Widerstand entgegen, daß man bisher von seiner Verarbeitung absehen muß. So werden in Südafrika monatlich etwa 250000 t (zu 1000 kg) Erz gefördert, aber aus 30 % dieser „Tailings" kann bisher das Gold nicht extrahiert werden. Es bleiben also dort zur Zeit d. h. im Jahre 1896 monatlich etwa 75000 t Golderz unbenutzt, deren Verwertung wohl der Zukunft vorbehalten ist.

Die Methode liefert schließlich das Gold als Cyangoldcyankalium in Lösung. Aus dieser Lösung ist es einige Jahre lang durch Zink ausgefällt worden, indem in die Flüssigkeit gebrachtes Zink sich als Cyanzinkcyankalium löst, während sich Gold als Schlamm abscheidet. Man glaube nun aber nicht, daß sich der Prozeß so bequem abspielt, wie es nach der Schilderung scheinen könnte. Dieser Schlamm z. B., der aus reinem Golde bestehen sollte, enthält nur $4\frac{1}{2}$ % von ihm, alles andere ist Verunreinigung, und die Reindarstellung des Goldes aus ihm ist eine weitere schwierige Arbeit. So stand die Sache im Jahre 1893, als die Firma Siemens & Halske mit einer bedeutenden Verbesserung des Verfahrens an die Öffentlichkeit trat, welches die Zinkfällung aus dem

Prozeß ausscheidet. Die Lösung von Cyangoldcyankalium erinnert uns an die obenerwähnte, welche die Fabrikanten zur Herstellung vergoldeter Gegenstände auf galvanoplastischem Wege als die beste herausgefunden haben. Hängt man also in die direkt aus den Erzen erhaltene Lösung dieses Golddoppelsalzes statt des Zinks Elektroden, so wird beim Durchleiten des elektrischen Stromes die negative Elektrode vergoldet werden. Nach diesem Verfahren arbeiten nun Siemens & Halske und benutzen als Elektroden sehr große Bleiplatten, auf denen sich das Gold als harte Kruste niederschlägt. Bei der Zinkfällung verbrauchte man für je 1000 kg auszulaugenden Erzes 0,12 kg Cyankalium, während man beim elektrischen Verfahren mit 0,012 kg, also dem 10. Teil auskommt, und da bei diesem Verfahren der Goldgewinnung der beträchtlichste Posten im Ausgabenkonto der Preis des Cyankaliums ist, stellt dies letztere Verfahren auch in dieser Beziehung einen gewaltigen Fortschritt dar.

Dieses also in Südafrika für die Praxis ausgebildete Verfahren, welches die billige Extraktion von fein verteiltem Golde aus Erzen gestattet, hat nun bereits an anderen Stellen der Erde zum Goldbergbau Veranlassung gegeben, an denen Erze vorkommen, deren Ausnutzung nach den älteren Methoden nicht lohnend war. So verarbeitet man nach dieser Methode jetzt die Erze des Cripple Creek-Bezirks in Colorado, der bereits große Mengen Gold liefert. Ebenso hat man sich ihm in Neuseeland zugewendet, wo auf 20 Werken nach diesem Verfahren etwa hunderttausend Unzen jährlich erzeugt werden. Da eine Unze gleich 31 g ist, bedeutet dies etwa 3000 kg jährlich, die einen Wert von über 8 Millionen Mark haben.

So sehen wir hier, indem wir noch einmal auf unsere Bemerkung auf S. 332 zurückkommen, wie die zur Blutlaugensalzfabrikation Verwendung findenden allerletzten Abfälle der Kultur, Wollumpen, altes Horn, altes Leder, oder die Reinigungsmassen der Gasanstalten dazu dienen, nachdem die chemische Industrie sie in Cyankalium übergeführt hat, das von den Menschen für das Kostbarste geschätzte Gold zu gewinnen; eine der Erwähnung gewiß nicht unwerte Erscheinung.

Das Rhodankalium. An das Cyankalium reihen sich das Schwefelcyankalium oder Rhodankalium und die Rhodanverbindungen. Setzt man zu geschmolzenem Cyankalium Schwefel, so nimmt es diesen auf und geht in Rhodankalium über, welches so zuerst im Laboratorium erhalten wurde.

$$CNK + S = CNSK.$$
Cyankalium + Schwefel = Rhodankalium.

Doch stellt man die Rhodanverbindungen im Großen, vom Schwefelkohlenstoff, den wir später kennen lernen, ausgehend, dar, da sie auf diesem Wege weit billiger zu erhalten sind. Man läßt z. B. ein Gemisch von 600 Teilen Alkohol von 95%, 800 Teilen Ammoniak vom spezifischen Gewicht 0,912 und 350—400 Teilen Schwefelkohlenstoff mehrere Tage stehen und destilliert es dann bis auf ein Drittel ab. Aus dem Rückstand kristallisieren bald 280 Teile Rhodanammonium aus, die sich zufolge folgender Umsetzungsgleichung gebildet haben.

Schwefelkohlenstoff + Ammoniak = Rhodammonium + Schwefelammonium.
$$CS_2 + 4NH_3 = CNSNH_4 + (NH_4)_2S.$$

Der Alkohol dient also, wie wir aus der Gleichung ersehen, nur dazu, um die nicht miteinander mischbaren Flüssigkeiten Schwefelkohlenstoff und Ammoniak, da er sie beide zu lösen vermag, im gelösten Zustande zur Wirkung aufeinander zu bringen.

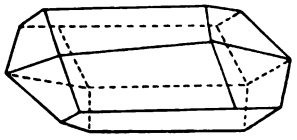
Die im Wasser gelösten Rhodanverbindungen sind die empfindlichsten Reagentien zum Nachweis von Eisen, indem sie selbst mit den geringsten Spuren derselben eine Rotfärbung erzeugen. Außer dem Rhodanammonium werden technisch noch folgende drei Rhodanverbindungen hergestellt. Das Rhodanaluminium, welches als Beize in der Färberei (siehe dort) eine Rolle spielt, wird durch Umsetzung von Rhodanbarium mit schwefelsaurem Aluminium (schwefelsaurer Thonerde, s. S. 356) dargestellt, indem beim Zusammenbringen beider Flüssigkeiten sich schwefelsaures Barium unlöslich abscheidet, welches abfiltriert wird, worauf das Rhodanaluminium in der Lösung vorhanden ist. Nur mit

seiner Verwendung als Beize ist es möglich, reinen Alizarinrotdruck herzustellen, während schwefelsaure Thonerde, die ja sonst stets in solchen Fällen als Thonerdebeize dient, Veranlassung zu violetten Streifungen gibt, und nur für diesen Zweck wird es seit einer Reihe von Jahren fabriziert. Weit früher schon hat man das Rhodanquecksilber in großen Quantitäten hergestellt. Diese Verbindung zeigt die von Wöhler in den vierziger Jahren entdeckte merkwürdige Eigenschaft, daß sie, wenn man sie anzündet, sich zu äußerst voluminösen wurmförmigen Gebilden aufbläht. Sie dient daher zur Füllung der Pharaoschlangen, jenes früher mehr als jetzt beliebten Kinderspielzeugs. Wöhler äußerte nach ihrer Entdeckung seinen Schülern gegenüber den Wunsch, er möchte wohl einmal zwei Zentner von ihr auf dem Göttinger Marktplatz (in dieser Stadt war er bekanntlich Professor) verbrennen, dann werde er wohl ganz von den sich aufblähenden Massen erfüllt werden. Damals handelte es sich um ein kostbares Laboratoriumspräparat; nachdem heute die Technik den Körper herstellt, könnte der Wunsch des längst entschlafenen alten Herren wohl erfüllt werden. — Außerdem wurde noch eine Zeitlang Rhodankupfer in größeren Mengen für Zündhölzerfabriken hergestellt, es neigt aber in trockenem Zustande zur Selbstentzündung, und man ist deshalb von seiner Verwendung wieder abgekommen.

Das rote Blutlaugensalz. Leitet man in eine Lösung des gelben Blutlaugensalzes Chlorgas ein, so färbt sie sich bald rot, und dampft man sie jetzt bis zum Kristallisationspunkte ab, so erhält man die Kristalle des roten Blutlaugensalzes. Den Vorgang gibt folgende ziemlich komplizierte Gleichung wieder:

$$2\,Fe(CN)_6K_4 + 2\,Cl = Fe_2(CN)_{12}K_6 + 2\,KCl$$

Gelbes Blutlaugensalz + Chlor = Rotes Blutlaugensalz + Chlorkalium.



353. Kristallform des roten Blutlaugensalzes.

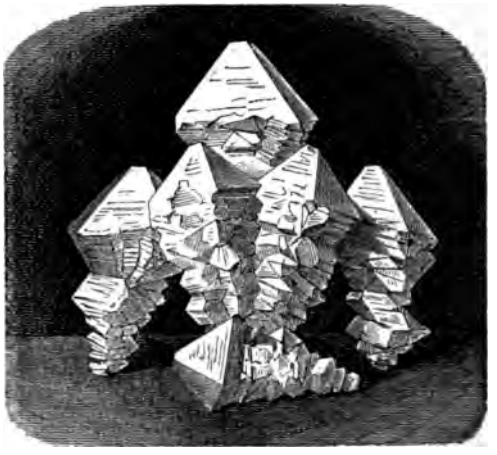
Das rote Blutlaugensalz spielt keine große Rolle in der Färberei, die es allerdings für manche Zwecke kaum entbehren kann; außer in dieser wird es wohl nur in den Laboratorien gebraucht. In den siebziger Jahren wuchs jedoch eine Zeitlang der Bedarf an ihm bedeutend. Mit Hilfe von rotem Blutlaugensalz kann man nämlich schwarze Seide mehr als mit irgend einem anderen Mittel beschweren. Man kann ihr mit seiner Hilfe bis 600 % Farbstoff einverleiben, d. h. das fertige Seidenzeug besteht schließlich zu $^1/_7$ aus Seide, zu $^6/_7$ aus Farbstoff. Daß solcher Stoff sehr haltbar sein wird, wird niemand erwarten, aber sicher wird er sich sehr billig stellen, und so wurde er in großen Mengen für den Export fabriziert, bis die Schiffe seine Mitnahme verweigerten. Die in dieser Art hergestellten Seidenzeuge neigen nämlich, wenn sie längere Zeit eng verpackt liegen, wie wir es eben erst vom Rhodankupfer erwähnten, zur Selbstentzündung, und nachdem sich das herausgestellt hatte, erwies sich ihr Transport über See als unmöglich.

Der Alaun.

Im Anschluß an das bisherige wollen wir an dieser Stelle nur noch den Alaun, welcher ein Kalidoppelsalz, nämlich schwefelsaures Kali + schwefelsaure Thonerde ist, sowie das chromsaure Kali besprechen. Weitere Kalisalze werden wir besser an anderen Stellen des Buches kennen lernen, so das Chlorkalium bei der Industrie der künstlichen Düngemittel, das salpetersaure Kali bei der Schießpulverfabrikation, das Jodkalium beim Jod u. s. w.

Der Alaun zeichnet sich durch große Kristallisationsfähigkeit aus und schließt in seine Kristalle 12 Moleküle Kristallwasser ein. Das Wertvolle für die Praxis des Lebens ist in ihm nicht das schwefelsaure Kali, sondern die schwefelsaure Thonerde. Die Thonerde ihrerseits ist die Sauerstoffverbindung des Aluminiums also Aluminiumoxyd, welches verbunden mit Kieselsäure als kieselsaures Aluminiumoxyd das ist, was wir Thon nennen. Die Thonerde kommt daher in ungeheuren Mengen auf Erden vor, besteht doch jeder gewöhnliche Ziegel aus unreinem Thon, also unreiner kieselsaurer Thonerde. In Wasser gelöste Thonerde, also z. B. eine passende Alaunlösung, hat die Eigenschaft, wenn sie mit Farbstofflösungen zusammengebracht wird, sich mit dem Farbstoff als gefärbte unlösliche

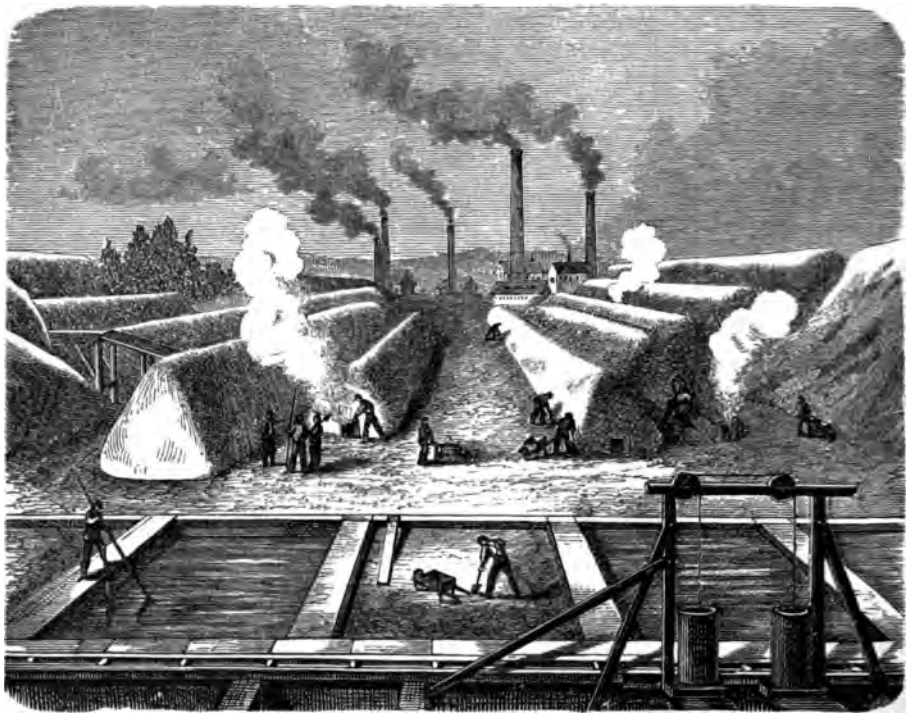
Verbindung, als sogenannter Farblack, sogleich abzuscheiden. Zieht man daher einen Stoff erst durch Thonerdelösung, tränkt so seine Fasern mit dieser, und zieht ihn hernach durch eine Farbstofflösung, sagen wir Fuchsinlösung, so ist der Stoff hernach echt rot gefärbt, indem das Fuchsin als Farblack gebunden an Thonerde in der Faser sitzt. Die Färber nennen die Thonerdelösung, sowie alle Lösungen, die ähnliche Eigenschaften gegenüber der Faser zeigen, Beizen, wie das ja ausführlich im Abschnitt über das Färben der Gespinstfasern in Band VIII dargestellt ist. Nun ist das einzig leicht kryställisierende und auch nicht schwer aus Naturprodukten gewinnbare wasserlösliche Thonerdesalz die Doppelverbindung von schwefelsaurem Kali mit der schwefelsauren Thonerde, also der Alaun. Da die Färber seine Brauchbarkeit als Beize von alters her kannten und seine Lösung als solche benutzten, ist auch seine Fabrikation eine uralte und noch heutzutage sehr ausgedehnte, zumal er ihnen infolge seiner ausgezeichneten Kryställisationsfähigkeit in größter Reinheit, was sie durchaus beanspruchen, geliefert werden kann. Allerdings beginnt die Chemie, seitdem sie ihn bis auf Herz und Nieren geprüft hat, ihm das Terrain ein wenig streitig zu machen. Da man jetzt weiß, daß nur die Thonerde das an ihm Wertvolle ist, stellen chemische Fabriken nämlich geradezu schwefelsaure Thonerde her (siehe weiterhin), suchen also das schwefelsaure Kali zu ersparen.



384. Alaunkryställgruppe.

Von dem Alaun spricht schon Plinius in seiner „Historia naturalis“, indessen geht aus seiner Beschreibung hervor, daß er mit demselben Namen zweierlei verschiedene Salze bezeichnet hat, den Eisenvitriol, welchen er schwarzes alumen nennt, und unseren Alaun, weißes alumen. In ähnlicher Weise sind wohl auch die von Dioskurides und anderen gebrauchten Benennungen nicht ganz strikt auf das jetzt mit dem Namen Alaun bezeichnete Salz zu beziehen. Doch ist er den Alten, wenn wohl auch nicht in ganz reinem Zustande, bekannt gewesen, denn die Art seines Gebrauchs, welche sie angeben, stimmt mit seiner heutigen Verwendung überein. Geber, der früher erwähnte arabische Chemiker, gedenkt des Alauns in unverkennbarer Weise und gibt die Art und Weise seiner Gewinnung an. Zu Anfang des 13. Jahrhunderts finden wir Alaunwerke in Kleinasien (Smyrna), in Italien, namentlich im Neapolitanischen, auf der Insel Sizilien und im 15. Jahrhundert die zu Tolfa im Kirchenstaate erwähnt. Die Kunst der Alaundarstellung war aber aus dem Orient hierher verpflanzt worden. Die Errichtung der Alaunwerke im Kirchenstaate soll dadurch veranlaßt worden sein, daß ein gewisser Johann de Castro, welcher einen Handel mit Farben und Zeugstoffen nach Kleinasien trieb, in der Gegend von Tolfa eine Pflanze (Ilex aquifolium) sehr häufig wachsend antraf, die auch in den Alaungegenden Kleinasiens sehr gewöhnlich war. Daraus schloß er, daß sie in Italien dieselben Bodenbestandteile zu ihrer Ernährung finden möchte wie dort, und daß sich aus dem angegebenen Grunde die Anlage von Alaunsiedereien in Italien lohnen würde. Der Erfolg bestätigte seine Vermutung, und der Bedarf des vielgebrauchten Salzes, welches einst allein von den Mauren und Türken bezogen worden war, konnte seitdem durch die inländische Produktion vollständig gedeckt werden. Papst Pius II. suchte sogar die Darstellung des Alauns zu monopolisieren, indem er durch allerhand Einschränkungen den Bezug von auswärts erschwerte. Daß sich in Deutschland manche Gegenden zur Alaunsiederei eigneten, weil das Salz in gewissen Grubenwässern enthalten sei, erwähnt schon Basilius Valentinus in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts, und kurze Zeit später erfahren wir, daß an verschiedenen Orten, im Lüneburgischen, bei Reichenbach in Sachsen u. s. w., Alaun erzeugt worden ist.

Die Darstellung des Alauns geschieht meist derart, daß man Gesteine, in denen sich entweder der Alaun bereits fertig gebildet vorfindet, oder aus denen er durch Verwitterung entstehen kann, oder aus denen er sich bildet, wenn man den einen oder den anderen fehlenden Bestandteil zusetzt, zuerst der oxydierenden Einwirkung der Luft aussetzt, worauf man sie auslaugt und ihn aus der Lösung durch Auskristallisieren gewinnt. Für diesen Zweck brauchbare Gesteine sind erstens die Alaunschiefer, bituminöse Schiefer von schmutzig dunkler, zuweilen sogar schwarzer Farbe, die sich durch einen Gehalt an Schwefelkies, das ist Schwefeleisen, welches durch Oxydation in schwefelsaures Eisen übergeht, und so der Lieferant für die Schwefelsäure wird, auszeichnen, und zweitens der Alaunstein oder Alunit, ein Mineral, welches aus etwa 30% Thonerde, 10% Kali, 35% Schwefelsäure nebst Wasser besteht. Alaunerze im großen ganzen nennt man weiter alle die natürlich vorkommenden Mineralien, welche Thon und



355. Alaunfeld mit Röstofen.

Schwefelkies enthalten und bei ihrer Verwitterung, also unter dem oxydierenden Einfluß der Luft, den wichtigsten Bestandteil des Alauns, schwefelsaure Thonerde, zu bilden vermögen. Um das Doppelsalz darzustellen, wird man bei diesen meist schwefelsaures Kali zusetzen müssen. Bei manchen Alaunsteinen, z. B. bei denen von Tolfa, welche sowohl Kali und Thonerde als auch Schwefelsäure enthalten, genügt schon, sie für die Alaunfabrikation stark zu erhitzen und sodann mit Wasser zu extrahieren. Dieses Auslaugen mit Wasser und das nachherige Abdampfen, Reinigen und Kristallisierenlassen der Lösung geschieht auf ganz ähnliche Weise, wie wir es bei der Blutlaugensalzfabrikation ausführlich kennen gelernt haben.

Komplizierter ist dagegen die Darstellung des Alauns aus den sonstigen Alaunerzen. Der Hauptmasse nach bestehen diese Gesteine aus kieselsaurer Thonerde mit beigemengtem Schwefelkies. Der Schwefel des letzteren soll sich erst durch Sauerstoffaufnahme aus der Luft in Schwefelsäure verwandeln und in dieser Form an die Thonerde binden. Dieses geschieht bei lockeren porösen Gesteinen, in denen die einzelnen Schwefeleisenpartikelchen für

die Einwirkung der Luft frei daliegen, schon bei gewöhnlicher Temperatur; dichtere Erze müssen dagegen durch Erhitzen, beziehungsweise Glühen, vorher mürbe gemacht, geröstet werden, wie man sagt, um sie der Einwirkung der Luft besser zugänglich zu machen. Formen und Dimensionen der Rösthaufen sind sehr verschieden. In den großartigen Alaunwerken von Hurlet und Campsie bei Glasgow umfassen die Rösthaufen zweier Fabriken allein einen Raum von ungefähr 5 ha und enthalten bei einer Länge von 40 bis 60 m, einer Breite von 7 m und einer Höhe von 5 m bis zu 26000 Tonnen Erz. Die Behandlung der Haufen in Bezug auf Regulierung der Hitze erfolgt ganz in derselben Art wie die Verkohlung von Holz in Meilern betrieben wird. Im allgemeinen gebraucht ein Haufen von den angegebenen Größenverhältnissen, um vollständig durchgeröstet zu werden, eine Zeit von 5—12 Monaten. Seine Auslaugung geschieht in gemauerten Zisternen, in welche ein falscher Boden von Latten eingelegt ist. Auf diesen werden die gerösteten Erze etwa 50 cm hoch aufgeschichtet und mehrmals mit immer schwächerer Lauge, die von früheren Waschungen herstammt, behandelt, bis endlich die letzte Erschöpfung mit reinem Wasser erfolgt. Die Konzentration der Laugen erfolgt sodann in dem in Abb. 356 wiedergegebenen Flammofen. In die Verdampfpfannen dd kommt die Lauge, über deren Oberfläche a die Flamme vom Rost r ausgehend wegschlägt, worauf sie durch den Schornstein e entweicht. Die Lauge wird aus den Gefäßen hh mittels der Hähne i in die Pfannen gelassen; die verschließbaren Öffnungen mm dienen zum Reinigen der Pfannen, nn zur Beobachtung des Prozesses. Durch das Rohr f leitet man die Lauge aus der höheren Pfanne in die tiefere, und durch op läßt man die konzentrierte Lauge ab.

Außer einer verhältnismäßig geringen Menge fertig gebildeten Alauns enthält solche Rohlauge in der Regel schwefelsaure Thonerde und schwefelsaures Eisenoxydul als vorwiegende Bestandteile, daneben aber schwefelsaure Salze von Natron, Kali, Magnesia, Mangan, ferner Chlorkalium, Kochsalz u. s. w. Das schwefelsaure Eisenoxydul wird bei dem Eindampfen durch weitere Sauerstoffaufnahme aus der Luft in eine unlösliche rote Eisenoxydverbindung umgewandelt, die sich als sogenannter Vitriolschmand ausscheidet.

356. Abdampfofen für Alaunlösung.

Ist durch das Eindampfen der entsprechende Konzentrationsgrad erreicht, so setzt man der Flüssigkeit so viel schwefelsaures Kali zu, daß die schwefelsaure Thonerde mit ihm zusammen als schwefelsaure Kalithonerde, als Alaun, auskryställisieren kann. Ein Teil der begleitenden Salze hat sich als weniger löslich bereits während des Abdampfens ausgeschieden und ist ausgesoggt worden; ein weiterer Teil setzt sich noch in den Kästen ab, in welche die Lauge geleitet wird, bevor der Zusatz des Alkali vorgenommen wird, und wird ebenfalls entfernt. Sobald die heiße Lauge und die Lösung des schwefelsauren Kalis zusammenkommen, beginnt die Bildung und Abscheidung von Alaunkryställen, weil dies neue Salz weniger löslich ist, selbst in heißem Wasser, als jedes seiner beiden Komponenten.

Man sorgt dafür, daß die Mischung fortwährend durch Umrühren oder Schütteln gestört wird, um die Ausbildung großer Alaunkryställe, welche viel von der unreinen Mutterlauge einschließen würden, zu verhindern. So gewinnt man nur kleine Kryställchen,

sogenanntes Alaunmehl. Dieses Mehl wird hierauf durch mehrmaliges Übergießen mit kaltem Wasser von der anhängenden Mutterlauge befreit, in einer Pfanne durch hineingeleitete Wasserdämpfe wieder gelöst und die konzentrierte Lösung der Ruhe überlassen. Aber auch hier bilden sich noch keine großen durchsichtigen Kryſtalle, vielmehr setzt sich das Salz als eine dichte weiße Masse an den Wänden ab, und erst nochmaliges Umkryſtallisieren liefert es in der im Handel beliebten Form.

Einfuhr und Ausfuhr des Deutschen Reiches an Alaun in Mengen von 100 kg

Jahr	Einfuhr	Ausfuhr	Jahr	Einfuhr	Ausfuhr
1890	2721	137706	1894	4253	175225
1892	3627	183915	1896	2759	214334

Um die Verpackung des fertigen Alauns zu ersparen, verfährt man auch so, daß man die zum Kryſtallisationspunkt eingedampfte Reinlauge in Bottiche laufen läßt, die so durch eiserne Reifen zusammengehalten werden, daß nach deren Entfernung die Dauben leicht auseinander genommen werden können. Ist die Kryſtallisation beendet, so hat der auskryſtallisierte Alaun etwa eine Wandstärke von 10 bis 12 cm. Man läßt jetzt die Mutterlauge ablaufen, entfernt die Dauben und kann nun die außerordentlich harte Kryſtallmasse, bei der eine Gefahr, daß sie zerbrechen werde, fast ausgeschlossen ist, unverpackt verschicken. Der Preis des Alauns beträgt jetzt etwa 11 Mark für 100 kg. Außer in der Färberei wird Alaun hauptsächlich in der Weißgerberei zur Herstellung des alaungaren Leders, sowie in der Papierfabrikation bei der Leimung des Papiers (siehe Band VIII) verwendet, namentlich aus letzterer hat ihn aber die schwefelsaure Thonerde jetzt wohl ganz verdrängt.

357. Waschen des Alauns.

Die im vorhergehenden öfters erwähnte schwefelsaure Thonerde, welche also seit einigen Jahrzehnten als Ersatz des Alauns fabriziert wird, wird zumeist so gewonnen, daß man einen von Eisen möglichst freien Thon schwach glüht, fein mahlt und hierauf mit Schwefelsäure in Bleipfannen erhitzt. Bleipfannen werden gewählt, weil diese gegen Schwefelsäure am widerstandsfähigsten sind. Die Schwefelsäure wirkt in der Wärme auf den Thon so ein, daß sich schwefelsaure Thonerde bildet, während sich die im Wasser unlösliche Kieselsäure abscheidet, die durch Filtration aus der Flüssigkeit entfernt wird.

Thon + Schwefelsäure = Schwefelsaure Thonerde + Kieselsäure,

oder streng im Sinne der heutigen Chemie ausgedrückt

Kieselsaures Aluminium + Schwefelsäure = Schwefelsaures Aluminium + Kieselsäure.

Die erhaltene Lösung von schwefelsaurer Thonerde wird hierauf so weit eingedampft, bis die Masse dickflüssig ist und eine herausgenommene Probe rasch erstarrt. Ist dieser Punkt

eingetreten, so gießt man sie in flache Bleipfannen und erhält sie nach dem Erkalten in durchscheinenden weißen Tafeln, welche die Handelsware bilden. Wie man sieht, enthalten diese all die Verunreinigungen, welche in der Lauge vorhanden sind, weil schwefelsaure Thonerde nicht auskrystallisiert, so daß keine Mutterlauge übrig bleibt, in welcher die Verunreinigungen gelöst bleiben, und so besteht die Schwierigkeit dieser Fabrikation darin, die Lauge vor dem Eindampfen von allem zu befreien, was, wenn sie später den Alaun vertreten soll, sich als schädlich erweisen würde. Dahin gehört namentlich die vollständige Entfernung des Eisens aus ihr.

Das chromsaure Kali. Das Element Chrom wurde von Vauquelin 1797 entdeckt und erhielt von ihm wegen der vielen schönen Farben, die es in seinen Verbindungen zeigt, seinen Namen (χρῶμα die Farbe). Technisch verarbeitet wird von den sich in der Natur findenden Chromverbindungen hauptsächlich der Chromeisenstein, der etwa 50—60 % Chromoxyd, 20 % Eisenoxyd, Thonerde, Magnesia u. s. w. enthält. Seine Überführung in chromsaures Kali (oder chromsaures Natron) erfolgt so, daß man ihn fein pulverisiert im Flammofen unter Zugabe von Kalk und Pottasche (bezw. Soda) erhitzt. Im Flammofen tritt hierbei Oxydation des Chromoxyds zur Chromsäure ein, die sich an das Kali (Natron) bindet, so daß, wenn man die erkaltete Schmelze hernach auslaugt, chromsaures Kali (chromsaures Natron) in Lösung geht. Das Aufschließen des Chromeisensteins, das wir hier in seinen Grundzügen skizziert haben, ist schwierig, und fortwährend tauchen Verbesserungsvorschläge auf, während die einzelnen Fabriken ihre besonderen Erfahrungen auf diesem Gebiete möglichst für sich zu behalten versuchen.

Im Jahre 1890 betrug die Einfuhr an Chromeisenstein ins Deutsche Reich 3933600 kg, die Ausfuhr 98100 kg. Im Jahre 1897 bewertete man ihn mit 50 % Chromsäuregehalt auf etwa 85 Mark für 100 kg.

Zwischen der Chromsäure und dem Kali gibt es zwei ausgezeichnete krystallisierende Verbindungen, das Kaliumpyrochromat, seiner Farbe nach als rotes chromsaures Kali bezeichnet, und das Kaliummonochromat, gelbes chromsaures Kali genannt. Da in diesen Salzen die Chromsäure das Wertvolle ist, und ersteres Salz, das auch doppeltchromsaures Kali genannt wird, weit mehr von ihr enthält, so arbeitet man meistens auf dieses hin. Es krystallisiert aus der vermittelst des Schmelzprozesses auf dem erwähnten Wege erhaltenen Lösung, wenn man die Flüssigkeit ansäuert, wozu Schwefelsäure dient.

Das rote chromsaure Kali findet sehr mannigfaltige Verwendung. Setzt man zu seiner Lösung essigsaures Blei, so scheidet sich chromsaures Blei aus, welches als gelbe Malerfarbe dient; auch stellt man mit seiner Hilfe eine ganze Anzahl grüner Farben her, aber ebenso gut hilft es rote, braune und schwarze Farben liefern. Außerdem benutzen die Färber es sehr viel nicht als eigentliches Farb-, sondern als Oxydationsmittel, da es leicht Sauerstoff abgibt, indem seine Chromsäure wieder in Chromoxyd übergeht. Dies ist zugleich der Grund, aus welchem es so häufig in den galvanischen Elementen, z. B. den so verbreiteten Tauchelementen, Verwendung findet. Hier dient es dazu, den sich während der Benutzung des Elementes am negativen Pol ausscheidenden Wasserstoff momentan zu Wasser zu oxydieren, wodurch, indem nun die feinen Bläschen dieses Gases den Pol nicht zu bedecken vermögen, die Kraft des Elements eine anhaltend gleichmäßige wird. Dabei bildet sich dann aus der Chromsäure Chromoxyd, welches sich als unlösliches Pulver abscheiden würde, wenn nicht die Flüssigkeit von vornherein mit Schwefelsäure angesäuert wäre, die das Chromoxyd im Entstehungsmoment bereits wieder löst. Da nun die Lösung des schwefelsauren Chromoxyds sehr dunkel gefärbt ist, geht die hellrote Farbe der frischen Füllung eines solchen Tauchelementes sehr bald in eine schwarzbraune über. Setzt man eine Lösung des Salzes zu Gelatine, so wird diese aus Gründen, deren Klarlegung uns hier zu weit führen würde, lichtempfindlich, eine Eigenschaft, die die Herstellung der Photolithographien ermöglicht hat, und mit deren Hilfe man jetzt die wundervollen photographischen Buntdrucke, sogenannten Pigmentdrucke, herstellt. Fügt man zu einer Lösung von saurem chromsauren Kali eine Lösung von Pottasche, so bildet sich, indem die Kohlensäure des kohlensauren Kalis entweicht, das

neutrale chromsaure Kali, das also in gelben Krystallen aus seiner genügend eingedampften Lösung sich ausscheidet.

Einfuhr und Ausfuhr des Deutschen Reiches an rotem chromsauren Kali und Natron in Mengen von 100 kg

Rotes chromsaures Kali			Rotes chromsaures Natron		
Jahr	Einfuhr	Ausfuhr	Jahr	Einfuhr	Ausfuhr
1890	15398	2654	1890	7569	4762
1892	7342	2088	1892	1382	7081
1894	2904	5496	1894	541	22587

Die Soda, das Kochsalz und die mit ihnen verbundenen Industrien.

Wir wissen, daß alle Pottasche bis in die Mitte dieses Jahrhunderts aus Holzasche dargestellt werden mußte. Der Bedarf an Pottasche ist nun im Laufe der Zeit mit der steigenden Kultur ununterbrochen gestiegen, denn Pottasche war bekanntlich nötig zur Herstellung des Glases, der Seife und für viele andere Industrien, so daß ihre Beschaffung in hinreichender Menge immer schwieriger werden mußte, zumal in den Kulturländern die Wälder immer mehr abnahmen. So blieb denn nichts weiter übrig, als sie aus waldreichen weniger kultivierten Ländern zu beziehen. Rußland lieferte sie, Illyrien, Nordamerika, kurzum, man holte sie von überall her, wo sie zu haben war. Dabei wurde sie durch die hohen Transportkosten, die die Unvollkommenheit des älteren Verkehrs mit sich brachte, sehr verteuert, und so machte sich immer dringender die Notwendigkeit geltend, für sie einen Ersatz zu schaffen. Ein solcher war allerdings bekannt, aber auch er war in größeren Mengen nicht zu haben und derzeit noch teurer als sie, es handelte sich dabei um die Soda. Während Pottasche kohlensaures Kali ist, ist Soda kohlensaures Natron. Fertig gebildete Soda kommt in einigen Gegenden der Erde in erwähnenswerter Menge vor, nämlich in den sogenannten Natronseen Asiens. An den Rändern dieser scheidet sich, wenn das Wasser verdunstet, Soda als krystallinische Kruste aus, und kann dort gesammelt werden. Auch in Ägypten gibt es solche Seen, deren Produkt unter dem Namen Trona in den Handel kam, ferner in Südamerika, Mexiko und in anderen Ländern. Die Gesamtmenge der so gewonnenen Soda blieb aber stets sehr unbedeutend. Eine allgemeinere Gewinnung der Soda fand auf industriellem Wege statt, nämlich durch Einäscherung gewisser Meerespflanzen, sowohl solcher, die im Meere selbst wachsen, welche man als Tang bezeichnet, als solcher, die am Strande ihren Standort haben. Im Lebensprozeß dieser Pflanzen vertritt das Natron das Kali, und sie hinterlassen nach dem Veraschen kohlensaures Natron, Soda, gerade so wie die Landpflanzen unter dieser Bedingung kohlensaures Kali, Pottasche, geben. Wie die Landpflanzen die in sehr geringer Menge im Boden vorhandenen Kalisalze ansammeln, sammeln die Seepflanzen das im Meer so reichlich vorhandene Kochsalz, welches chemisch Chlornatrium ist. Die aus ihnen gewinnbare Soda ist sehr unrein, und die Strandbewohner haben stets die rohen Aschen verkauft, sich mit ihrer Reinigung nie viel Mühe gegeben.

Die an Soda reichste Asche wurde an einigen Punkten der spanischen Küste aus der von den Botanikern Salsola Soda benannten Pflanze bereitet. Man kultivierte sie geradezu zur Gewinnung ihrer Asche, die unter dem Namen Barilla Handelsprodukt war, auf großen am Meere gelegenen Feldern, die von Zeit zu Zeit unter Wasser gesetzt wurden. Die gereiften und getrockneten Pflanzen wurden nach Herausnahme der Samen in Erdgruben verbrannt. Der Rückstand repräsentiert sich dann in Form harter schlackenähnlich aussehender Klumpen. In Südfrankreich gewann man gleichfalls aus der Salicornia annua einen Rückstand mit 15 % Sodagehalt. In der Normandie führen die Aschen, die durch Verbrennen getrockneter Seetange gewonnen werden, den Namen Varec, in Schottland den Namen Kelp. Auf der Insel Jersey im Kanal hatte z. B. ehemals die Seetangernte die gleiche Wichtigkeit wie etwa heutzutage die Weinernte am Rhein. Jetzt werden diese Aschen, nachdem die Sodagewinnung aus ihnen längst unlohnend geworden ist, nur noch dargestellt, um das in ihnen in geringer Menge enthaltene Jod zu gewinnen. Aber auch die Zeit hierfür scheint vorüber zu sein, indem Chile als Nebenprodukt seiner Salpeter-

erzeugung, wie wir sehen werden, mehr Jod liefern kann, als die Welt überhaupt braucht.

Im Jahre 1834 kamen noch 12000 t Barilla nach England, 1850 1744 t, 1864 1260 t, und jetzt hat der Import ganz aufgehört.

Heute liefert die chemische Großindustrie alle Soda, und die Sodaindustrie hat eigentlich erst die Chemiker gezwungen, ihre Methoden aus dem Laboratorium in die Fabrikpraxis zu übertragen. Vor der Sodaindustrie, die Anfang des 19. Jahrhunderts in Gang kam, kann man von einer eigentlich chemischen Industrie nicht reden. Die mannigfachen Aufgaben, die gerade diese Industrie mit ihren vielen Nebenindustrien und Nebenprodukten den Chemikern zur Lösung dargeboten hat, haben erst die technische Chemie auf ihre jetzige Höhe bringen helfen. Hier lernte man zuerst im Laboratorium ausgearbeitete Verfahren für die Fabrikpraxis auszugestalten, denn was im Laboratorium vielleicht vorzüglich brauchbar erscheint, ist häufig im großen Maßstabe der Technik gar nicht durchführbar.

358. Salsola Soda. 359. Salicornia annua.

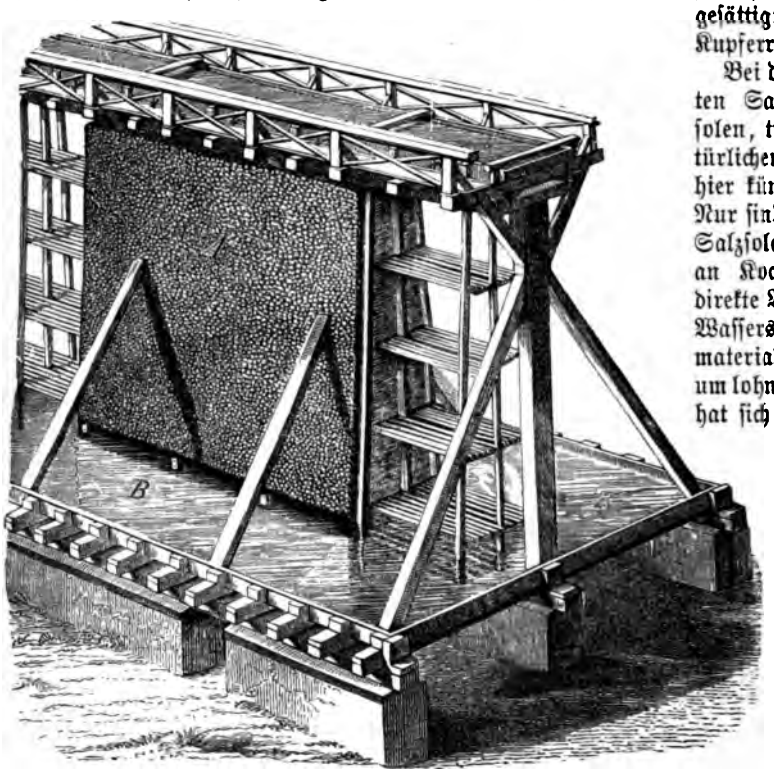
Die erwähnte Notwendigkeit, einen Ersatz der immer teurer und knapper werdenden Pottasche zu beschaffen, machte sich schon im letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts unabweisbar geltend. Pottasche künstlich aus anderen Kalisalzen zu erzeugen, war unmöglich, man kannte doch damals überhaupt keine weiteren Kalisalze, als die in der Pflanzenasche vorhandenen. Die Staßfurter Kalisalzlager sind ja erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts entdeckt worden, und so gab man sich denn alle Mühe, die der Pottasche so ähnliche Soda fabrikmäßig herzustellen. Die große Ähnlichkeit beider tritt uns ja schon dadurch vor Augen, daß Pflanzen mit Natronsalzen statt mit Kalisalzen leben können, also selbst Lebewesen bald mit diesem bald mit jenem Alkali sich abzufinden vermögen. Für das Natron der Soda gibt es nun eine ganz unerschöpfliche Quelle auf Erden, das ist das Chlornatrium, das Kochsalz, und so verstehen wir nach dem Mitgeteilten leicht, weshalb die französische Akademie 1775, um dem Mangel an Pottasche abzuhelfen, einen Preis auf eine technisch verwertbare Methode zur Überführung von Kochsalz in Soda ausschrieb.

Das Kochsalz.

Das Kochsalz kryställisiert in Würfeln und bildet als Steinsalz große Lager im Inneren der Erde. Werden diese von Quellen getroffen, so sättigt sich deren Wasser mit ihm in mehr oder minder hohem Grade, indem es das Salz auflöst, worauf sie als Salzquellen, Salzsolen zu Tage treten. Ein ebenfalls unerschöpfliches Reservoir für dasselbe bildet auch das Meerwasser, dessen Durchschnittsgehalt an ihm etwa 2,6 % beträgt. Die Wahrscheinlichkeitsberechnung, wie viel festes Kochsalz im Meere enthalten ist, ergibt, daß es 120 Billionen t sein mögen, das ist ein Quantum, für welches uns, da jeder Vergleich fehlt, das Vorstellungsvermögen abgeht. Bedeutende Steinsalzlager, die bergmännisch ausgebeutet werden, sind in Europa zu Wieliczka in Galizien, zu Staßfurt, zu Berchtesgaden in Bayern, zu Sperenberg in Brandenburg, zu Dieuze in Frankreich, zu Norwich in England, zu Cordova in Spanien im Betriebe. Aber ebenso reichlich gibt es sie auch außerhalb Europas. Es finden sich auch einige Landseen, deren Wasser fast mit

360. Kochsalzkryställ.

Kochsalz gesättigt ist. Dahin gehören das Tote Meer Palästinas und der Salt lake in Utah in Nordamerika, sowie der Eltonsee in der russischen Steppe, aus welch letzterem allein jährlich 20 Millionen kg Salz gewonnen werden. In vielen der genannten Bergwerke findet sich das Steinsalz in solcher Reinheit, daß es nur gemahlen zu werden braucht, um selbst als Tafelsalz dienen zu können. Die unreineren Partien muß man allerdings auflösen und durch Umkrystallisieren reinigen. Hierbei kann man die mühevolle Gewinnung dieses unreinen Salzes auf bergmännischem Wege sparen. Man treibt nämlich ein Bohrloch bis in das Steinsalz nieder, setzt ein engeres Kupferrohr in das Bohrloch ein und leitet in den Zwischenraum beider Röhren Wasser. Dies wird sich in der Tiefe mit Kochsalz sättigen und als gesättigte Lösung im Kupferrohr wieder aufsteigen, so daß man auf diesem Wege, wenn man den Zufluß des Wassers passend regelt, stets gesättigte Sole aus dem Kupferrohr abziehen kann.



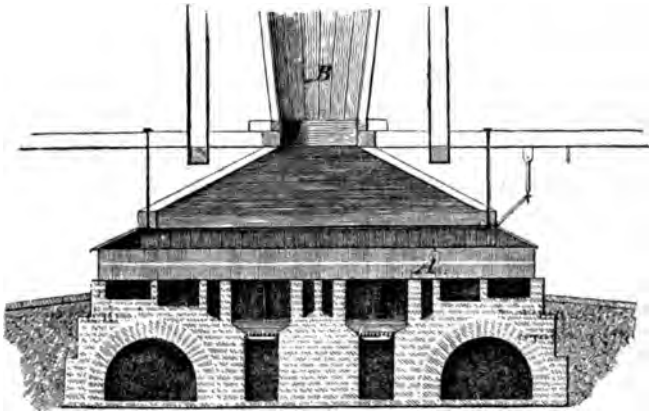
361. Gradierwerk.

Bei den oben erwähnten Salzquellen, Salzsolen, tritt das auf natürlichem Wege ein, was hier künstlich bewirkt ist. Nur sind die natürlichen Salzsolen häufig so arm an Kochsalz, daß das direkte Verdampfen ihres Wassers zu viel Brennmaterial erfordern würde, um lohnend zu sein. Doch hat sich seit Jahrhunderten ein Verfahren herausgebildet, welches ein vorausgehendes möglichstes Konzentrieren derartiger Solen an der Luft ermöglicht und als Gradieren bezeichnet wird. Dieses Verfahren besteht darin, daß man die Sole auf Hochreservoire hebt, die sich über Wänden befinden, welche aus Dornen A aufgebaut sind, die in dem aus soliden Balken aufgeführten Gerüste die nötige Stütze finden. Man benutzt zumeist Schwarzdorn (prunus spinosa) und gibt, in Rücksicht auf die Menge der zu verarbeitenden Sole, diesen Gradierwerken sehr große Dimensionen, so sind die zu Schönebeck bei Magdeburg befindlichen über 2 km lang. Die Anordnung der Schwarzdornbündel geschieht so, daß sie etwas nach außen geneigt sind, wodurch die herabsickernde Sole gezwungen ist, stets möglichst am Rande der Wand herabzufließen. Die Regulierung der Geschwindigkeit, mit welcher sie über das Gradierwerk geht, wird durch Hähne bewirkt, und die sogenannte Geschwindstellrichtung ermöglicht es, bei geänderter Windrichtung die Sole sofort auf die entgegengesetzte Seite der Dornwand zu leiten. Meist muß sie drei- bis viermal über das Gradierwerk gehen, bis sie zu dem auf diesem Wege erreichbaren Gehalt von etwa 25 % Kochsalz angereichert ist. Mit der Gradierung ist zugleich eine Reinigung der Sole verknüpft, indem sich Kalksalze und sonstige nicht ganz leichtlösliche in ihr vorhandene Verbindungen auf den Dornen ab-

setzen. Der sich aus ihnen bildende Dornstein besteht zumeist aus Gips, kohlensaurem Kalk, kohlensaurer Magnesia u. s. w. Unter der Gradierwand befindet sich stets ein wasserdichter, aus Balken zusammengefügter Behälter B, welcher die konzentrierte Sole aufnimmt. Das Versieden der so erhaltenen konzentrierten Flüssigkeit wird in flachen Eisenpfannen A ausgeführt, die durch direktes Feuer erhitzt werden. Bei der bedeutenden Länge der Pfannen, die bis 10 m erreicht, bringt man zwei Feuerungen unter ihnen an, deren Flammen durch passende Anordnung der Züge gezwungen sind, ihre Hitze möglichst an sie abzugeben, während der aus der kochenden Sole aufsteigende Wasserdampf durch B ins Freie abgeleitet wird.

Der Siedeprozeß zerfällt in zwei Perioden. Die erste umfaßt die Zeit der Wasserverdampfung bis zur Sättigung der Sole (Periode des Störens), die zweite die der Ausscheidung des Salzes (Periode des Soggens). Beim Eindampfen der Sole scheiden sich nämlich zuerst noch Kalksalze und ähnliches aus, die sich teils als Schaum abschöpfen lassen, teils vom Boden her mit einer Krücke herausgeschafft werden. Schließlich zeigt sich eine Haut von Kochsalz, welches jetzt, da die Wassermenge nicht mehr ausreicht, es gelöst zu halten, herauszufallen, zu soggen beginnt und ebenfalls herausgeschöpft wird. Nachdem es gut abgetropft ist, kommt es in die Darrstube, und das in dieser getrocknete Produkt ist Handelsware.

Nach dem Ausſoggen läßt man zu der in der Pfanne gebliebenen Lauge frische Sole laufen, worauf sich die Arbeitsweise nach einiger Zeit wiederholt, bis schließlich die Mutterlauge gar zu reich an fremden Salzen wird, welche anfangen, sich dem ausſoggenden Kochsalz beizumischen, was natürlich nicht angängig ist. Dieser Punkt pflegt nach vierzehntägigem und noch längerem ununterbrochenem Sieden einzutreten, worauf man die im Verhältnis zur Sole geringe Quantität dieser Mutterlauge weglaufen läßt, um mit frischer Sole wieder anzufangen. — Die Gradierung fängt, so große Gradierwerke es auch noch gibt, jetzt an viel von ihrem ehemaligen Werte für die Salzgewinnung zu verlieren, indem man es vorzieht, in das Salzlager, dem die natürliche Sole ihren Gehalt verdankt, ein Bohrloch zu treiben, und so durch Einleiten von Wasser in dieses auf dem vorhin gegebenen Wege gleich zu einer gesättigten Sole zu kommen, wenn man nicht überhaupt zum Bergbau auf Salz übergeht.



862. Ofen zum Versieden der Salzsole.

Die Menge des gewonnenen Kochsalzes betrug im Deutschen Reiche

Jahr	Steinsalz in Tonnen à 1000 kg	Kochsalz aus wässeriger Lösung in Tonnen à 1000 kg	Jahr	Steinsalz in Tonnen à 1000 kg	Kochsalz aus wässeriger Lösung in Tonnen à 1000 kg
1884	344800	464000	1893	669100	504500
1886	444400	479000	1894	734937	522590
1890	577100	492000			

Die Gesamtproduktion der Welt an Kochsalz betrug im Jahre 1893 9195000 Tonnen. Im Jahre 1890 kosteten 10000 kg Steinsalz in Staßfurt etwa 40 Mark, in Rheinland und Westfalen, je nach der Fracht, 110—140 Mark, und diese Preise haben sich seitdem nicht viel geändert.

Eine weit bedeutendere Menge Salz, als man im allgemeinen glaubt, wird aus Meerwasser gewonnen. Diese Industrie blüht noch heute im Süden Europas um das

Mittelmeer herum. Man betreibt sie an den Küsten Portugals, Frankreichs, aber ebensogut auch Dalmatiens, wo Verfasser z. B. bei Stagno grande auf der Halbinsel Sabioncello ein ziemlich ausgedehntes Werk im Betriebe sah. Das Meerwasser des Mittelmeeres enthält im Kubikmeter, d. h. also in 1000 l, 28—31 kg Kochsalz und 5—6 kg andere Salze, wie Chlorkalium, Chlormagnesium und schwefelsaure Magnesia. Man läßt es in ein weites flaches Bassin hineinlaufen, oder pumpt es in ein solches, in welchem es in der Ruhe alle mechanischen Verunreinigungen absetzt. Nachdem nun unter dem Einfluß der Sonnenwärme und des Windes viel Wasser verdunstet ist, läßt man die konzentrierter werdende Flüssigkeit in immer kleinere Behälter laufen, in welchen sich Gips, Eisenoxydhydrat und ähnliches aus ihr abscheiden. Schließlich fängt das Kochsalz an in Form einer Haut aus der Flüssigkeit herauszukryställisieren. Man wirft es auf Haufen und läßt es gut abtropfen, womit seine Fabrikation beendigt ist. In Südfrankreich verarbeitet man auch die nach dem Ausschöpfen des Kochsalzes bleibenden Mutterlaugen, die man anderwärts weglaufen läßt, auf die sonstigen im Meerwasser enthaltenen oben genannten Salze, worauf wir nicht näher eingehen wollen. Wir erwähnen dies letztere überhaupt nur, weil Balard im Jahre 1826 in diesen Mutterlaugen das Element Brom entdeckte. Sie enthalten nämlich außer den erwähnten Bestandteilen etwa 0,6 % Brommagnesium, und aus ihnen wurde alles Brom, dessen die Welt benötigte, dargestellt, bis seit den siebziger Jahren Staßfurt Lieferant für dasselbe wurde, wie wir später sehen werden.

Überführung des Kochsalzes in Soda. Wir kommen nunmehr zu den Methoden der Überführung des Kochsalzes in Soda, von denen zwei in allergrößtem Maßstabe jetzt nebeneinander Verwendung finden. Beide wollen wir hier eingangs kurz skizzieren, weil uns dies das Verständnis und die Übersicht des Folgenden sehr erleichtern wird, ohne die Unzahl der mißglückten Versuche, die das gleiche Ziel der Sodagewinnung erstrebten, auch nur zu berühren.

Das älteste Verfahren ist Ende des vorigen Jahrhunderts vom Franzosen Leblanc auf Anregung des erwähnten Preises der französischen Akademie ausgearbeitet worden. Nach demselben verwandelt man Kochsalz durch Einwirkung von Schwefelsäure in schwefelsaures Natron und verschmilzt dieses Salz mit kohlensaurem Kalk und Kohle in einem Flammofen. Aus der erhaltenen Schmelze zieht Wasser, mit dem man sie auslaugt, die in ihr sodann vorhandene Soda aus.

Das zweite Verfahren ist von dem Belgier Solvay vor etwa 25 Jahren technisch verwertbar gemacht worden und beruht auf folgendem im Laboratoriumsmaßstabe lange bekanntem Verhalten. Setzt man zu einer Lösung von Kochsalz doppeltkohlensaures Ammoniak, so scheidet sich doppeltkohlensaures Natron aus, das schon bei gelindem Erhitzen in einfach kohlensaures Natron, d. i. in Soda, übergeht. Das Verfahren Leblancs erfordert, da alles Kochsalz für dasselbe zuerst in schwefelsaures Natron verwandelt werden muß, eine eigene Schwefelsäurefabrik, und so wie es eine eigene Schwefelsäurefabrik verlangt, zwingt es in seinem Verlaufe, wie wir sehen werden, auch noch zur Herstellung vieler anderen Chemikalien in großen Massen.

Wir müssen daher als Einleitung zur Sodaindustrie zuerst den Schwefel und die Schwefelsäureindustrie betrachten.

Der Schwefel und die Schwefelsäure-Industrie.

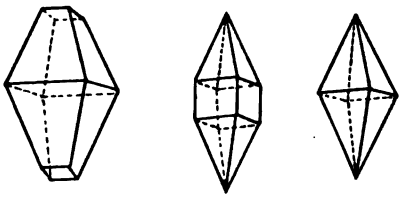
Der Schwefel ist nicht nur ein zu vielerlei Gebrauch dienliches, sondern vermöge der bedeutenden Rolle, die er und seine Verbindungen in der Großindustrie spielen, auch ein in nationalökonomischer Beziehung hochwichtiges Element. Für den Schwefel wollte England sogar einmal einen Kriegszug unternehmen, eine Absicht, die vielleicht eher zu rechtfertigen ist, als sein Opiumkrieg gegen China.

Im Jahre 1838 verlieh nämlich die damalige neapolitanische Regierung dem Marseiller Haus Taix & Co. das Ausfuhrmonopol für den sizilianischen Schwefel, welcher zu jener Zeit die einzige Quelle zur Versorgung der europäischen Industrie mit diesem wichtigen Rohmaterial war. Heute liegen die Verhältnisse ganz anders, wie wir sehen

werden. Um ihren Verpflichtungen gegenüber der dortigen Regierung mit Nutzen nachkommen zu können, erhöhten die Monopolbesitzer den Preis der Tonne sogleich von 100 auf 280 Mark. Unter diesen Verhältnissen hätte die englische Sodaindustrie, die damals der Hauptabnehmer für den Schwefel war, zu Grunde gehen müssen, wenn nicht die englische Regierung sich in ihrem Interesse entschlossen hätte, der neapolitanischen sehr ernstliche Vorstellungen zu machen, die, unterstützt von einigen vor Neapel auffahrenden Kriegsschiffen, denn auch den gewünschten Erfolg hatten und den Preis des Schwefels wieder auf den normalen Stand brachten.

Weit wichtiger noch als der Schwefel selbst sind die aus ihm gewinnbaren Säuren, namentlich die Schwefelsäure, die eine solche Rolle in der chemischen Industrie spielt, daß ihr Verbrauch in dieser von keinem anderen chemischen Produkt, sondern nur noch vom Verbrauch an Brennmaterial übertroffen wird.

Der Schwefel ist eines der wenigen Elemente, welche die Natur an gewissen Örtlichkeiten gleich gediegen d. h. rein und nicht mit anderen Stoffen verbunden, zuweilen selbst in schönen Kryställen (Abb. 363) darbietet, woher denn auch seine Kenntnis und Benutzung bis in die ältesten Zeiten zurückreicht. Die Fundorte des gediegenen Schwefels liegen vorzugsweise, wenn auch nicht ausnahmslos, in vulkanischen Gegenden, und noch fortwährend sind vulkanische Kräfte thätig, aus dem Erdinnern Schwefel an die Oberwelt zu fördern. Was aus den Kratern und kleineren Rauchlöchern der Vulkane, den Solfataren, ausströmt, besteht zum Teil aus einem eigentümlichen Gas, dem Schwefelwasserstoffgas. Tritt dieses an den Mündungen der Krater mit der Luft in Berührung, so wird es zu schwefliger Säure verbrannt, welche sogleich auf nachfolgendes Gas einwirkt und mit diesem sich so umsetzt, daß Schwefel abgeschieden und Wasser gebildet wird.



363. Schwefelkrystalle.

Schwefelwasserstoff + schweflige Säure = Schwefel + Wasser

$$2\,H_2S + SO_2 = 3\,S + 2\,H_2O.$$

Der Schwefel scheidet sich in Substanz aus und setzt sich an kälteren Stellen ab. In mehreren Vulkanen von Mexiko ist diese fortwährende Neubildung von Schwefel so ergiebig, daß sie den dortigen Bedarf deckt. Auch in Kalifornien sind reiche Schwefellager aufgefunden worden. Europa muß sich an die Ausbeutung älterer Lager halten, in denen sich der Schwefel in Höhlungen und Klüften von Gips, kalkigen und thonigen Gesteinen abgesetzt hat, tuffartige oder auch erdige Massen durchdringend, und daher in den verschiedensten Graden der Reinheit vorkommt. Am reichsten an solchen Schwefellagern ist also die Insel Sizilien; sie bildet noch immer die Hauptbezugsquelle für die großen Mengen, die die europäische Industrie braucht. Das Festland von Italien findet seinen Bedarf in der Romagna, wo die Produktion fortwährend im Steigen begriffen ist. In einem späteren Jahrhundert wirft sich die Ausbeutung vielleicht auf die jetzt noch unbenutzten Schwefelreichtümer der Insel Island. Weit verbreiteter als in gediegenem Zustande ist der Schwefel in Gesellschaft mit Metallen, von denen die Verbindungen des Schwefels mit Eisen, die Schwefelkiese, so häufig sind, daß sie fast in jedem Lande vorkommen. Analoge Verbindungen sind Schwefelkupfer oder Kupferglanz, Schwefelblei oder Bleiglanz, Schwefelzink oder Zinkblende u. s. w. Außerdem findet er sich auch noch in Form von schwefelsauren Salzen sehr häufig, so z. B. als schwefelsaurer Kalk (Gips), als schwefelsaurer Strontian (Cölestin), als schwefelsaurer Baryt (Schwerspat) u. s. w.

Daß der Schwefel nicht bloß als totes Mineral existiert, sondern auch im aktiven Naturleben eine wichtige Rolle spielt, sei beiläufig bemerkt. Viele Pflanzen verdanken nämlich den eigentümlichen Charakter ihres Geruchs und Geschmacks ihrem Gehalte an organischen schwefelreichen Verbindungen, so z. B. die Lauche und Zwiebeln, wie auch die Asa foetida (der eingetrocknete Saft einer Steppenpflanze Mittelasiens, nämlich des Stinkasands).

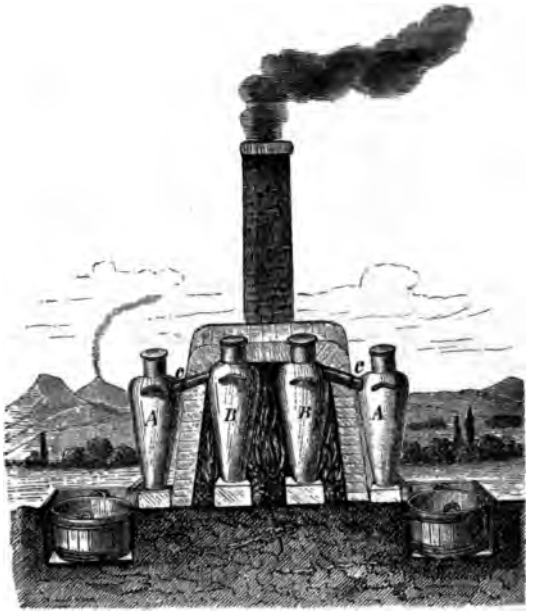
Und nicht nur ins Pflanzenreich geht er ein, sondern auch die tierischen Lebewesen brauchen ihn für ihre Existenz, die an die Eiweißstoffe gebunden ist. Unter Eiweiß versteht die physiologische Chemie alle jene komplizierten Stoffe, welche stickstoffhaltig sind und im lebenden Körper vorkommen, also aus Eiweißkörpern im chemischen Sinne besteht z. B. auch das Fleisch, weil es aus höchst kompliziert zusammengesetzten stickstoffhaltigen Substanzen besteht. Die meisten Eiweißkörper enthalten nun ein wenig Schwefel, so daß er also auch an deren Aufbau beteiligt ist. Unseren Geruchsnerven macht er sich für gewöhnlich in diesen nicht geltend, doch zeigen bekanntlich speziell Eier, resp. zeigt ihr Eiweiß, wenn es nicht mehr frisch ist, jenen widerlichen Geruch, den man als den nach faulen Eiern bezeichnet hat. Es ist das der Geruch des Schwefelwasserstoffgases, welches Gas sich also bei dieser Fäulnis durch die Spaltung des Eiweißes bildet. (Der Schwefelgehalt der Eier ist, nebenbei bemerkt, auch der Grund, daß silberne Löffel, wenn man sie beim Essen derselben benutzt, schwarz werden. Silber hat eine ganz besondere Verwandtschaft zum Schwefel, und so bildet sich unter diesen Verhältnissen Schwefelsilber, welches von schwarzer Farbe ist.)

364. Stinkasand (Ferula asa foetida).

Die Gewinnung des Schwefels ist da, wo er in gediegenem Zustande vorkommt, sehr einfach. In Sizilien bricht man die Schwefelmassen gangmäßig aus dem kalkigen und mergeligen, mit Gipsschichten abwechselnden Gestein. Die Schwefellager befinden sich in einer Tiefe von 40—50 m; Kellertreppen führen hinunter, und auf ihnen steigen Kinder von 12—16 Jahren auf und ab und tragen die gebrochenen Stücke nach oben. Die traurige Lage, in die diese Bevölkerung durch das fortdauernde Sinken des Schwefelpreises versetzt ist, hat die italienische Regierung im Juli 1895 endlich veranlaßt, jenen geringen Exportzoll, der immer noch auf Schwefel erhoben wurde, ganz abzuschaffen, um ihm so die Konkurrenz auf dem Weltmarkte zu erleichtern; 1860 war der Wert von 1000 kg sizilianischem Schwefel 120 Lire, 1875 142 Lire, 1893 72 Lire. Doch findet man jetzt, den Anforderungen der Neuzeit gemäß, auch schon in vielen Gruben Förderung mittels Dampfmaschinen und Drahtseil auf schiefen Ebenen. Der Schwefelgehalt des Gesteins beträgt 20—30 %. Man sondert die Bruchstücke in reichere und ärmere und schmilzt die ersteren in eisernen Kesseln ein. Nachdem der Kesselinhalt einige Zeit in Fluß erhalten worden, hat sich der größte Teil jener fremden Beimischungen zu Boden gesetzt; man schöpft nun das Flüssige aus und gibt es in nasse hölzerne Formen, in denen es zu Blöcken von Rohschwefel erstarrt. Die Bodensätze und das vorher ausgesonderte schwefelärmere Material werden eindringlicher erhitzt, um den Schwefel in Dampfform abzutreiben, d. h. man unterwirft sie ebenfalls gleich in der Nähe der Gruben einer rohen Destillation. Als Apparat dient hierzu ein liegender Ofen, dessen Durchschnitt wir in Abb. 365 sehen, in welchen 12—16 krugförmige Thongefäße B so eingelassen sind, daß ihre Mündungen, die nach geschehener Füllung fest verschlossen werden, oben herausragen. Die Räume zwischen den Krügen werden mit Holz angefüllt. An den Hals jedes dieser Krüge ist ein abwärts gerichtetes Rohr c angesetzt, welches in ein ähnliches außerhalb des Ofens stehendes Kruggefäß A einmündet. Letzteres bildet die Vorlage, in welcher die durch die Hitze übergetriebenen Dämpfe sich zu flüssigem Schwefel verdichten, der durch ein unteres Rohr in ein Gefäß mit Wasser ausfließt.

Häufig wendet man in Sizilien eine Ausschmelzmethode an, bei welcher man kein fremdes Brennmaterial braucht, sondern die Hitze dadurch gewinnt, daß man einen Teil des Schwefels der Verbrennung preisgibt, wobei freilich die bei der Verbrennung von Schwefel sich bildende schweflige Säure einen lästigen Übelstand bildet. Auf einer stark abschüssigen eingeebneten Stelle wird eine Ringmauer von vielleicht 18 m Durchmesser

t, die nach der Thalseite etwa 7 m, oberhalb wegen des ansteigenden Terrains halb so hoch ist. An der tiefsten Stelle des Gemäuers ist ein Ausflußloch, das mit einem Gipspfropfen verschlossen ist, neben dem sich nur ein paar enge Löcher welche zur Untersuchung des Schmelzzustandes während des Betriebes dienen. Öffnung ist als natürlicher Rost ein Haufen grober Steine gesetzt. In dieser Ofen werden die Schwefelstufen regelmäßig aufgeschichtet, doch so, daß ein kleiner aum zwischen ihnen und dem Gemäuer bleibt. Man fährt mit dem Aufbau in nform noch ein Stück über die Höhe der Umfassungsmauer fort, deckt schließlich Schlacken, die von früheren Bränden übrig sind, zu und zündet den Ofen oder ort Calcarone genannt, am hinteren Ende oben an. Infolge des beschränkten ts verbrennen nur etwa 30 % des Schwefels, während die entwickelte Hitze das lzen des übrigen bewirkt. Die Verwendung anderen Brennmaterials stellt sich Gegenden noch teurer. Das Niederschmelzen einer solchen Masse dauert Tage. Von Zeit zu Zeit öffnet man das Zapfloch und läßt den dickflüssigen nen Schwefel in einen mit feuchteten schrägwandigen laufen. In Sizilien er- ch die Schwefellager längs iste von Girgenti bis an den Ätna in einer Länge von bei etwa 40 km Breite. Szosnowice bei Krakau ist seit Jahren eine ganz andere Ge- weise des Schwefels einge- r sich dort als gediegener in Mergel eingelagert, vor- ieser Schwefel wird nämlich Mergel mittels Schwefel- f (s. S. 386), in welcher der Schwefel leicht löslich gen und durch Abdestillieren efelkohlenstoffs aus ihm als gewonnen. Mit sehr ge- Brennstoffaufwand gewann so den gesamten Schwefel- s Gesteins, und der Verlust efelkohlenstoff soll sich auf % belaufen. Doch hat man

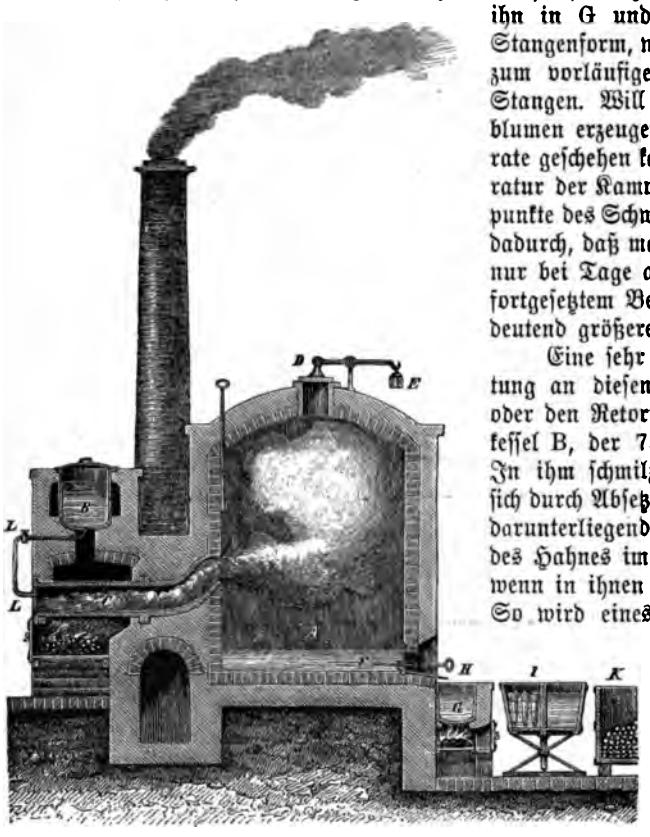


365. Destillieren des Schwefels.

en Prozeß hernach für die an Schwefel reicheren Stücke noch zu übertreffen n, so daß nur noch die an Schwefel armen Erze so verwertet werden. Man mlich die besseren Erze in einen Dampfkessel, in dem sie auf einem Siebe liegen. n jetzt den Kessel an, so wird mit dem steigenden Druck in ihm auch der Siede- Wassers sich erhöhen. Bei zwei Atmosphären kocht Wasser bei 120°, bei drei ren bei 135° u. s. w. Schwefel schmilzt nun schon bei 112°. Hat also der Kessel zwei Atmosphären erreicht, so wird er aus dem Gestein ausschmelzen unter dem Siebe im Kessel ansammeln, von wo er direkt in die handelsübliche ger runder Cylinder gegossen wird.

auf Sizilien gewonnene Schwefel muß, da er so unrein ist, daß er Rohschwefel wird, für viele Zwecke seiner Verwendung dem Raffinieren unterworfen werden, ier Destillation oder richtiger Sublimation besteht. Das Raffinieren sizilianischen bildet einen besonderen Geschäftszweig, der sich in verschiedenen Seestädten des res, besonders in Marseille, angesiedelt hat. Die hierzu benutzten Apparate be- zwei eisernen liegenden Cylindern C (s. Abb. 366), von denen jeder 200—300 kg faßt, und einer anstoßenden, aus Backsteinen gemauerten Kammer A von Stuben-

größe. Der hintere Teil des Cylinders zieht sich vor seiner Einmündung in die Kammer halsartig nach oben. Wird nun der Schwefel in ihm bis zum Sieden erhitzt und darin erhalten, so treten die sich bildenden Dämpfe in die Kammer über und verdichten sich hier zu dem unter dem Namen Schwefelblumen bekannten feinen Pulver, das sich am Boden der Kammer absetzt. Alles, was nicht der Verflüchtigung fähig ist, bleibt zurück, und der übergetriebene Schwefel ist somit frei von allen erdigen Stoffen. Die Bildung von sublimiertem Schwefel oder sogenannten Schwefelblumen findet nur zu Anfang des Betriebes statt, im weiteren Verlaufe nehmen die Kammerwände und die Luft in der Kammer diejenige Temperatur an, bei welcher der Schwefel schmilzt (112°), und die Schwefelblumen schmelzen daher. Den geschmolzenen Schwefel F zapft man bei H ab, sammelt ihn in G und gießt ihn in die bekannte Stangenform, wie bei I zu sehen ist. K dient zum vorläufigen Aufspeichern der fertigen Stangen. Will man ausschließlich Schwefelblumen erzeugen, was mit demselben Apparate geschehen kann, so muß man die Temperatur der Kammer stets unter dem Schmelzpunkte des Schwefels zu erhalten suchen, etwa dadurch, daß man mit Unterbrechungen, d. h. nur bei Tage arbeitet, oder man muß bei fortgesetztem Betriebe eine Kammer von bedeutend größeren Dimensionen anwenden.



866. Raffinieren des Schwefels.

Eine sehr zweckmäßige neuere Einrichtung an diesen Apparaten ist ein über der oder den Retorten angebrachter Vorwärmekessel B, der 750—800 kg Schwefel faßt. In ihm schmilzt das Rohmaterial, läutert sich durch Absetzen, und aus ihm werden die darunterliegenden Retorten durch Öffnung des Hahnes im Verbindungsrohr L gespeist, wenn in ihnen der Schwefel zur Neige geht. So wird einesteils Brennstoff gespart, da dieser Vorwärmer durch die abziehende Hitze geheizt wird, und anderseits der wesentliche Vorteil erreicht, daß man die Retorte beschicken kann, ohne sie öffnen zu müssen, was nicht ohne eine schädliche Lufterneuerung in der Kammer geschehen könnte. In dieser verbrennt nämlich, weil sich die Luft nie ganz abschließen läßt, immer etwas Schwefel zu schwefliger Säure, die sich in die Schwefelblumen zieht, wo sie durch Aufnahme von noch mehr Sauerstoff aus der Luft zu Schwefelsäure wird; daher sind die Schwefelblumen des Handels stets etwas sauer, und um sie zu medizinischem Gebrauch geeignet zu machen, muß sie der Apotheker mit Wasser auswaschen (gewaschener Schwefel).

Die Kammer A des Raffinierapparates hat außerdem noch eine Thür, welche geöffnet wird, wenn Schwefelblumen herauszuschaffen sind, sonst ist dieselbe dicht geschlossen. Um aber die Luftausdehnung im Innern, welche durch die Hitze bewirkt wird, auszugleichen, ist im Deckgewölbe ein Ventil D E angebracht, aus welchem die überschüssige Luft entweichen kann.

Die Benutzung des Schwefels an sich ist eine sehr mannigfaltige, wie die zu Schwefelfäden und Zündhölzern, zur Pulverfabrikation, zu Feuerwerk, zu Abgüssen u. s. w. Auf die wichtige Verwendung des Schwefels zum Vulkanisieren des Kautschuks kommen

wir S. 387 zurück. Als Komponent schöner Farbstoffe geht der Schwefel ein in den Zinnober, das Kadmiumgelb, das künstliche Ultramarin und manche Anilinfarben, worüber an anderen Stellen dieses Bandes Näheres gesagt werden wird. Zum medizinischen Gebrauche dient er in Form von Schwefelblumen und Schwefelmilch. Die Schwefelblumen sind ferner für die Weinbauer ein wahrer Retter aus der Not geworden, indem sie neben Kupfervitriol das beste Mittel zur Bekämpfung der verheerenden Traubenkrankheit sind. Die Einfuhr an Schwefel ins Deutsche Reich betrug 1896 21864 t.

Verbindungen des Schwefels. Der Schwefel zeichnet sich durch eine große Verbindungsfähigkeit mit anderen Elementen aus. Darauf beruht auch seine Wichtigkeit für Wissenschaft, Technik und Gewerbe, und wie er selbst, so sind einzelne seiner Verbindungen heute geradezu unentbehrlich geworden. Dies gilt vor allem von der Schwefelsäure. Sie besteht, wie wir bereits wissen, aus Schwefel und Sauerstoff; erkundigen wir uns aber bei der Chemie des Näheren, so erfahren wir, daß es nicht weniger als neun verschiedene Verbindungsstufen des Schwefels mit Sauerstoff gibt. Von ihnen sind jedoch nur zwei seit langer Zeit bekannt und technisch angewendet: die schweflige und die Schwefelsäure; zu diesen hat sich in neuerer Zeit noch die unterschweflige Säure durch die Bedeutung gesellt, die ihr Natronsalz als Antichlor und in der Photographie erlangt hat.

Schweflige Säure ist sicher eines der am leichtesten zu erzeugenden chemischen Präparate, denn man darf nur einen Schwefelfaden anzünden, um sich durch den Geruch vom Auftreten dieses gasförmigen Körpers zu überzeugen. In derselben Art wie beim Anzünden eines Stückes Kohle sich Kohlensäure bildet, die gasförmig entweicht, so daß die Kohle scheinbar verschwindet, bildet sich beim Brennen von Schwefel schweflige Säure unter scheinbarem Verschwinden des Schwefels. Sowohl Kohle wie Schwefel nehmen bei diesem Prozeß zwei Atome Sauerstoff auf, und so nennt man die Kohlensäure auch Kohlendioxyd, die schweflige Säure Schwefeldioxyd.

Kohle + Sauerstoff (aus der Luft) = Kohlensäure (Kohlendioxyd)
$C + O_2 = CO_2$
Schwefel + Sauerstoff (aus der Luft) = Schweflige Säure (Schwefeldioxyd)
$S + O_2 = SO_2$.

Die schweflige Säure hat in Gegenwart von Wasser unter passenden Bedingungen das Bestreben, durch Aufnahme von noch mehr Sauerstoff in Schwefelsäure überzugehen,

Schweflige Säure + Sauerstoff + Wasser = Schwefelsäure
$SO_2 + O + H_2O = H_2SO_4$.

und bildet so das Mittelglied der Überführung des Schwefels in diese Säure. Sie selbst hat bis zum Jahre 1884 nur eine reichlichere Verwendung in der Industrie gefunden, der sie auch noch ununterbrochen dient, nämlich zum Bleichen solcher Stoffe, für welche die Chlorbleiche nicht anwendbar ist. Zu diesen gehören namentlich Wolle, Federn, Seide, Darmsaiten, Badeschwämme, Stroh- und Korbmacherwaren. Man verfährt, um sie zu bleichen, meist einfach so, daß man die Gegenstände angefeuchtet in Kammern aufhängt, in denen man Schwefel abbrennt. Die so entstehende gasförmige schweflige Säure, die von Natur die Eigenschaft hat, außerordentlich leicht im Wasser löslich zu sein, gelangt so an die feuchten Stoffe, löst sich in der Feuchtigkeit und übt ihre bleichende Wirkung aus. Heute liefern aber chemische Fabriken die Lösung der schwefligen Säure in Wasser fertig ins Haus, und werden viele Stoffe durch Eintauchen in diese Flüssigkeit gebleicht. Die schweflige Säure ist auch ein starkes Antiseptikum, das heißt, ihre Anwesenheit veranlaßt das Absterben von Bakterien, und daher schreibt sich die konservierende Kraft, welche das Schwefeln der Weinfässer, das Schwefeln von Flaschen, in denen Obst konserviert werden soll, u. s. w. ausübt.

Seit dem Jahre 1884 dient die schweflige Säure in Form ihres sauren schwefligsauren Kalksalzes auch im größten Maßstabe zum Aufschließen des Holzes, d. h. zur Gewinnung von Cellulose aus Holz für die Papierfabrikation. Die ältere Methode, deren man sich für diesen Zweck bediente, bestand bekanntlich in der Verwendung von

Natronlauge. Was Natronlauge in rein chemischer Beziehung ist, und wozu sie sonst noch dient, erfahren wir sehr bald im Anschluß an die Soda. Hier wollen wir nur die Gewinnung des sauren schwefligsauren Kalks, der sogenannten **Sulfitlauge**, das neue Mittel zur Cellulosegewinnung kennen lernen.

Mitscherlich, der Erfinder des ganzen Verfahrens, bereitete den sauren schwefligsauren Kalk so, daß er die durch Verbrennen von Schwefel oder Schwefeleisen (siehe weiterhin bei der Schwefelsäurefabrikation) erhaltene schweflige Säure in einen Schornstein treten ließ, der nicht wie gewöhnliche Schornsteine leer, sondern mit großen Stücken Kalkstein gefüllt war, also trotz seiner Füllung, infolge der vielen Zwischenräume dieser, den nötigen Zug zum Brennen des Schwefels liefern konnte. Die im Schornstein, der in diesem Falle als Turm bezeichnet wurde, aufsteigende schweflige Säure traf dort auf den Kalkstein, über den langsam Wasser herabrieselte, und bildete mit diesem schwefligsauren Kalk, ein in Wasser unlösliches Salz. Aber in dem weiter herabrieselnden Wasser löste sich im unteren Teile des Turmes, wo die schweflige Säure doch reichlich vorhanden ist, diese als solche auf, und in der so gebildeten wässerigen schwefligen Säure löst sich wiederum mit Leichtigkeit schwefligsaurer Kalk, indem saurer schwefligsaurer Kalk entsteht. Die so bereitete Lösung desselben sammelt sich am Fuße des Turmes in Bottichen und findet nachher ihre Verwendung zum Zerkochen des Holzes.

Schweflige Säure	+	Kalkstein	+	Wasser	=	Saurer schwefligsaurer Kalk	+	Kohlensäure
$2\,SO_2$	+	$CaCO_3$	+	H_2O	=	$Ca(HSO_3)_2$	+	CO_2

Die Darstellung des sauren schwefligsauren Kalkes in Türmen ist mit manchen Unzuträglichkeiten verknüpft. Die Witterung, namentlich der Frost und die Menge des über den Kalkstein rieselnden Wassers, haben großen Einfluß auf den Zug in den Öfen und erfordern viel Intelligenz seitens der an ihnen beschäftigten Arbeiter, wenn die entstehende Lauge von saurem schwefligsaurem Kalk immer die gleich brauchbare Zusammensetzung, d. h. die nötige Stärke zeigen soll. Man hat deswegen allmählich diese Methode verlassen und benutzt statt ihrer eine solche, bei der man von Äußerlichkeiten weniger abhängig ist, die die Herstellung der Lauge mühelos gestattet, allerdings auch größere maschinelle Einrichtungen erfordert.

Man verbrennt nämlich den Schwefel in weiten gußeisernen Röhren, die innen mit feuerfesten Steinen ausgemauert sind, so daß ihnen der während des Brennens schmelzende Schwefel, welcher sonst Eisen rasch zerfrißt, indem er die Bildung von Schwefeleisen veranlaßt, wie wir das schon in der Blutlaugensalzfabrikation kennen lernten, nichts anhaben kann. Die Röhren sind einerseits durch eine luftdicht abgedichtete Thür verschlossen, und finden anderseits ihre Fortsetzung in einer ausgedehnten eisernen Rohrleitung.

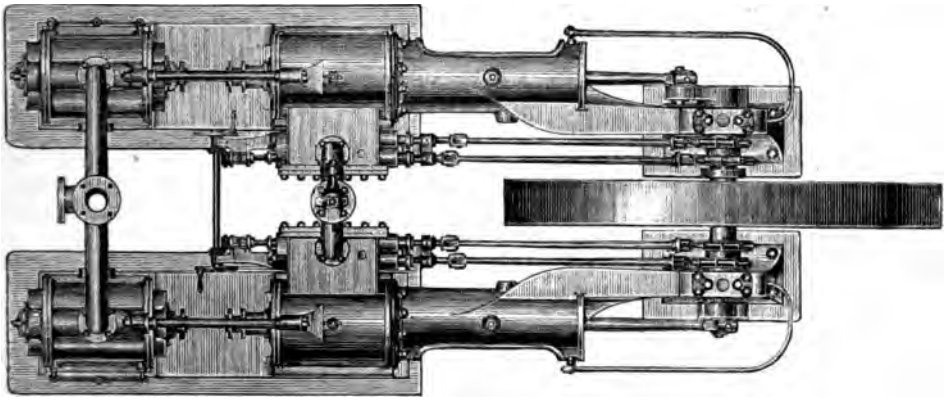
Nachdem man den Schwefel in ihnen entzündet und die Thür verschlossen hat, treibt man mit einer Luftpumpe, welche die Luft in genügender Weise komprimiert, vermittelst eines seitwärts in das Gußrohr einmündenden Rohres Luft durch dieses, die nun den Schwefel in Brand hält. Wir sehen auf Abb. 63 einen für diesen Zweck vorzüglich geeigneten horizontalen doppeltwirkenden Luftkompressor für direkten Dampfbetrieb, wie ihn G. A. Schütz zu Wurzen in Sachsen baut. Damit die durch den brennenden Schwefel im Rohre entwickelte Hitze nicht zu bedeutend wird, liegt dasselbe in einem Bassin mit kaltem Wasser.

In der sich an das Verbrennungsrohr anschließenden eisernen Leitung, die freistehend als Luftkühler dient, findet hierauf eine vollständige Abkühlung des schwefligsauren Gases bis auf die Temperatur des umgebenden Raumes statt. Das trockene schwefligsaure Gas, welches sich bei diesem Prozeß bildet, greift die eisernen Röhren nicht an, während feuchte schweflige Säure oder gar der mit ihrer Hilfe darzustellende saure schwefligsaure Kalk sie in kürzester Frist zerstören würden. Deswegen findet das Einleiten des schwefligsauren Gases in die Kalkmilch, die es in sauren schwefligsauren Kalk überführen soll, welche sich in hölzernen Bottichen befindet, vermittelst Bleileitungen statt.

$2\,SO_2$	+	$Ca(OH)_2$	=	$Ca(HSO_3)_2$.
Schweflige Säure	+	Kalkmilch	=	Saurer schwefligsaurer Kalk.

In den sehr großen Bottichen steht die Kalkmilch etwa 5 m hoch, das entspricht, wie wir aus der Physik wissen, etwa einer halben Atmosphäre Druck. Schaltet man also selbst zwei Bottiche hintereinander, damit, wenn im ersten der saure schwefligsaure Kalk fertig gebildet ist, der Überschuß der schwefligen Säure nicht etwa in die Luft entweicht, sondern im zweiten festgehalten wird, so sieht man, daß schon eine Atmosphäre Überdruck genügt, um das schwefligsaure Gas durch beide zu pressen, und die ist vermittelst der Luftkompressoren leicht zu beschaffen. Kocht man also Holz mit der so erhaltenen Flüssigkeit, und zwar benutzt man am besten Weißtannen, bei einigen Atmosphären Überdruck, so löst sie alle die Cellulose im Holze inkrustierenden, d. h. sie zusammenklebenden Substanzen auf, und wäscht man hernach die so behandelte Masse mit viel Wasser, so hinterbleibt reine Cellulose von so vorzüglicher Beschaffenheit, daß sie in der Papierfabrikation nicht ein Surrogat, sondern geradezu einen Ersatz für leinene Lumpen repräsentiert.

Bevor wir zur Schwefelsäure übergehen, wollen wir auch noch des vorhin genannten unterschwefligsauren Natrons gedenken. Dieses Salz erhält man auf dem Wege, daß man schwefligsaures Natron mit Schwefel kocht, dann löst sich in der Flüssigkeit genau so viel Schwefel auf, als in dem schwefligsauren Natron bereits enthalten ist, und sie enthält jetzt unterschwefligsaures Natron, welches beim Erkalten aus der Lösung in schönen glasigen Kryställen anschießt.



867. Horizontaler doppeltwirkender Kompressor für den direkten Dampfbetrieb.

$$SO_3Na_2 + S = S_2O_3Na_2$$

Schwefligsaures Natron + Schwefel = Unterschwefligsaures Natron.

Es dient vornehmlich zwei Zwecken. Von dem einen von diesen her hat es auch den Namen Antichlor erhalten. Daß das Chlor zum Bleichen dient, wollen wir an dieser Stelle als bekannt voraussetzen. Chlor zerstört aber nicht nur Farben, sondern zerstört auch die Gewebe, auf denen sie sich befinden, wenn man ihm Zeit dazu läßt, und deshalb muß man, sobald die Stoffe gebleicht sind, seinen Überschuß abstumpfen. Dazu eignet sich nun kaum etwas besser als unser unterschwefligsaures Natron. Es ist für die Gewebe absolut unschädlich, dabei sehr billig, und weiter geht es, indem es das Chlor abstumpft, ihm also seine zerstörende Kraft nimmt, in ebenfalls für das Gewebe völlig unschädliche Verbindungen, der Hauptsache nach in Glaubersalz über. Würden die Hausfrauen sich des Antichlors bedienen, sie hätten keinen Grund, auf den, das läßt sich nicht leugnen, sehr bequemen Chlorkalk als Bleichmittel zu verzichten, vor dem sie jetzt meist ein gewisses Grauen wegen der Zerstörung der Wäsche, die mit seiner Verwendung im Haushalt oft verbunden ist, empfinden. Sie könnten die große Unbequemlichkeit der Rasenbleiche ebenso gut wie die Fabrikanten von Weißzeug, die ja auch ihr Fabrikat nicht auf dem Rasen bleichen können, ersparen. Sie müßten nur wie diese Fabrikanten, nachdem die klare Lösung des Chlorkalks, oder das Eau de Javelle ihre Wirkung auf die Wäsche ausgeübt haben, diese sogleich in Wasser bringen, in dem sie etwas unterschwefligsaures Natron aufgelöst haben.

Letztere klare Bleichflüssigkeit ist wohl, wenn sie auch einige Pfennige teurer ist, geeigneter für die Hausfrauen als der Chlorkalk, von dem womöglich Stücke an der Wäsche haften bleiben, die sie selbstverständlich unfehlbar zerfressen. Schon der Geruch lehrt, ob genügend unterschwefligsaures Natron angewendet ist. Ist das nämlich der Fall, so ist auch die Wäsche völlig geruchfrei geworden.

Zweitens findet das unterschwefligsaure Natron bei der Herstellung der Photographien Verwendung, und die Photographen haben ihm den Namen Fixiersalz gegeben. Die Photographie beruht bekanntlich auf der Empfindlichkeit mancher Silbersalze gegenüber dem Licht.

Man bringt zu ihrer Ausführung doch in eine Camera obscura an die Stelle der Milchglasplatte, mit deren Hilfe man ein verkleinertes Bild von Gegenständen, die sich vor der Camera befinden, eingestellt hat, heutzutage eine Trockenplatte, welche das empfindliche Silbersalz enthält, nachdem man der Camera wieder eine Kappe aufgesetzt hat, die das Eindringen von Licht verhindert. Entfernt man sodann die Kappe für ganz kurze Zeit, so bewirkt der Einfluß des Lichtes die Entstehung des Bildes auf der Platte, aber das in der außerordentlich kurzen Zeit erhaltene Bild ist viel zu schwach, als daß das menschliche Auge es wahrnehmen könnte. Legt man jedoch nunmehr die Platte in die sogenannte Entwickelungsflüssigkeit, als welche sehr verschiedene Lösungen dienen können, so findet jetzt, statt durch das Licht, durch diese Flüssigkeit die Weiterzersetzung der einmal belichteten Silberteile statt, und bald sieht man beim roten Lichte der Dunkelkammer ein Bild auf der Platte erscheinen. Käme die Platte jetzt ins Tageslicht, so würde natürlich alles unveränderte Silbersalz in ihr schwarz werden, und das Bild wäre verloren. Daher ist es nunmehr nötig, alles auf der Platte überschüssig vorhandene Silbersalz, das durch das Licht und den Entwickler nicht beeinflußt wurde, zu entfernen, und dies geschieht durch Eintauchen in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron, der die Eigenschaft zukommt, durch das Licht nicht veränderte Silbersalze aufzulösen. Dagegen vermag sie die durch das Licht veränderten Silberverbindungen, die das Bild repräsentieren, nicht zu beeinflussen, und so bleibt das Bild hernach auch im Tageslicht erhalten, da durch das Licht geschwärzt werdendes unverändertes Silbersalz in der Platte nun nicht mehr vorhanden ist, das unterschwefligsaure Natron hat also das Bild fixiert.

Wir kommen nunmehr zur **Fabrikation der Schwefelsäure**. Wir wissen, daß man gebrannten Kalk durch Glühen von Kalkstein erhält, er zerfällt hierbei in Calciumoxyd, d. i. Kalk, und Kohlensäure, die man, da sie wasserfrei ist, auch Kohlensäureanhydrid nennen kann. In gleicher Weise erhält man, wenn man schwefelsaures Eisenoxyd glüht, Eisenoxyd und Schwefelsäureanhydrid.

Schwefelsaures Eisenoxyd	=	Eisenoxyd	+	Schwefelsäureanhydrid
$Fe_2(SO_4)_3$	=	Fe_2O_3	+	$3\,SO_3$.

Während das Kohlensäureanhydrid gasförmig aus dem Kalkofen entweicht, bildet das Schwefelsäureanhydrid mit der Feuchtigkeit der Luft dicke Nebel von Schwefelsäure. Destilliert man daher schwefelsaures Eisenoxyd aus einer Retorte und gibt in die zugehörige Vorlage etwas Wasser, so erhält man in dieser flüssige Schwefelsäure.

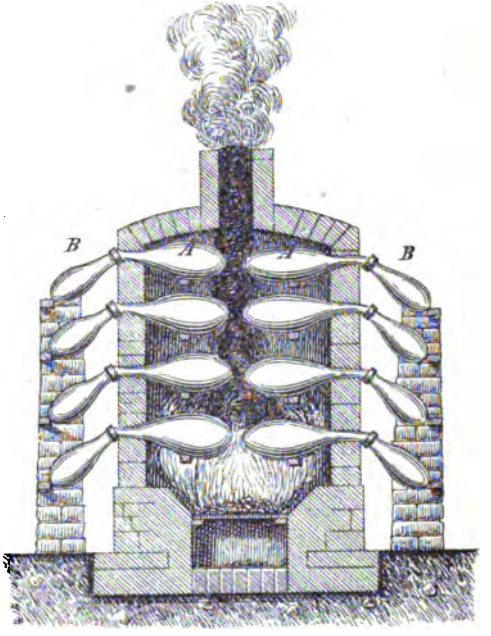
Schwefelsäureanhydrid	+	Wasser	=	Schwefelsäure
SO_3	+	H_2O	=	H_2SO_4.

So einfach ist also die Gewinnung von Schwefelsäure auf diese Art, und es nimmt uns daher nicht wunder, daß schon Geber im 8. Jahrhundert sie gekannt haben soll. Die so erhaltene Schwefelsäure, eine dicke Flüssigkeit, die ehemals den Namen Vitriolöl oder Oleum führte, raucht an der Luft, weil sie Schwefelsäureanhydrid aufgelöst enthält, welches beim Öffnen einer Flasche, in der sie sich beispielsweise befindet, mit der Feuchtigkeit der Luft, die jetzt herankommt, die schon erwähnten Nebel (von Schwefelsäure) bildet.

Die technische Fabrikation dieser Schwefelsäure ist in Böhmen im größten Maßstabe ausgebildet worden, von wo sicher auch zuerst derartige Schwefelsäure schon vor 300 Jahren in den Handel gekommen ist. Ihr Aufblühen in jener Gegend beruht auf einem dort vorkommenden Schiefer, der reich an Pyrit, d. i. Schwefeleisen, ist. Wir sahen in der

Alaunfabrikation, daß in manchen Schiefern beim Liegen an der Luft durch die Oxydation des Schwefelgehalts ihres Pyrits Schwefelsäure disponibel wird, welche, wenn zugleich in ihnen Thon zugegen ist, Veranlassung zur Bildung von schwefelsaurer Thonerde, der Grundlage der Alaunindustrie, gibt. In Böhmen hatten nun die Alaunwerke von jeher mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen, weil sich beim hohen Eisengehalt des dortigen Schiefers stets viel schwefelsaures Eisenoxydul bildete, welches die Alaunfabrikation so erschwerte, daß sie geradezu unlohnend wurde. Mit der Zeit hat man dann nur noch Schiefer verarbeitet, die nach der Oxydation beim Auslaugen an das Wasser hauptsächlich schwefelsaures Eisen abgeben, um aus ihm Schwefelsäure zu gewinnen, und auf den Alaun verzichtet.

Derartige aus der Grube kommenden Schiefer läßt man noch jetzt etwa drei Jahre an der Luft liegen, indem man bei der Aufschichtung der Halden für Kanäle, die den Luftzutritt erleichtern, sorgt. Ihr Pyritgehalt geht erst in schwefelsaures Eisenoxydul, hernach durch Weiteroxydation in schwefelsaures Eisenoxyd über. Nach dieser Zeit laugt man sie aus und erhält eine dunkelbraune Lauge, die man den Sudhütten zuführt. Hier dampft man sie in Flammöfen mit oberschlächtigem Feuer ein, bis eine Probe nach dem Erkalten erstarrt, worauf man sie auf den Boden ausfließen läßt. Das nach dem Erkalten und Festwerden erhaltene Produkt heißt Rohstein und enthält noch viel schwefelsaures Eisenoxydul. Es kommt jetzt in einen zweiten Flammofen, den Calcinierofen, in dem es völlig entwässert und durch übergeleitete Luft möglichst weiter oxydiert wird. Der calcinierte Rohstein ist hernach im wesentlichen fast wasserfreies schwefelsaures Eisenoxyd. Nach dem Zerkleinern wird er in Öfen aus Retorten von feuerfestem Thon destilliert. Auf jeder Seite des Galeerenofens befinden sich übereinander vier korrespondierende Reihen zu je 34 Kolben, die in der Mitte mit ihren Böden ziemlich aneinander stoßen. Zu oberst bilden neuerdings 34 große röhrenförmige Retorten eine fünfte Reihe, die an beiden Seiten offen sind, quer durch den ganzen Ofen gehen und an jeder Seite eine Vorlage haben. Ebenso ist an jeder kleinen Retorte A eine thönerne Vorlage B von solcher Größe angelegt, daß dieselbe das Produkt von vier bis fünf Destillationen hintereinander zu fassen vermag. Im ganzen enthält somit ein solcher Galeerenofen neuester Konstruktion 272 kleine und 34 große Oleumkolben nebst 340 Vorlagen. Der Name Galeerenofen stammt daher, daß die aus seinen beiden Längsseiten hervorragenden Retortenhälse an die Galeeren der Alten erinnern. Man feuert den Ofen so langsam an, daß erst in etwa vier Stunden die unterste Kolbenreihe ins Glühen kommt. Sobald an der Mündung der Retorten Wasserdämpfe erscheinen, legt man die Vorlagen B vor, früher gab man in sie etwas Wasser, heutzutage englische Schwefelsäure (s. weiterhin), wodurch sich die Ausbeute an rauchender Schwefelsäure sehr steigert. Der Rückstand in den Retorten ist das Caput mortuum. Er war ehemals fast wertlos, jetzt wird er feingemahlen und hernach unter Kochsalzzusatz nochmals geglüht und wieder ausgelaugt, wodurch man sehr hübsche Farbennuancen, namentlich ein schönes Rot, erzielt, die hernach Handelsware sind.



868. Darstellung rauchender Schwefelsäure.

Nun heißt es bei Basilius Valentinus in seiner „Offenbarung der verborgenen Handgriffe“: „Nimm ein Teil Kieselsteine und des calcinierten Vitriols zwei Teile, reibe

es zusammen, thue es in einen Waldenburger irdenen Krug, welcher die Geister wohl hält und nicht durchdringen läßt, oder in eine beschlagene (d. h. mit Lehm bestrichene) gläserne Retorte, lege eine große Vorlage dafür, lasse das Feuer gemachsam angehen, wohl verlutiert, erstlich einen ganzen Tag und Nacht, und wieder einen Tag und Nacht, so werden erstlich graue Spiritus kommen, und nach großer Vermehrung des Feuers etliche rote Tropfen mitunter, so halte das Feuer so lange mit Gewalt, bis die Spiritus und rote Tropfen alle hinübergestiegen sind." Wenn man diese Beschreibung liest, kann man nicht gerade sagen, daß die böhmische Art der Fabrikation der rauchenden Schwefelsäure seit dem 15. Jahrhundert, aus dem sie stammt, große Fortschritte gemacht hat, denn noch immer wird sie dort aus kleinen Retorten auf dem von Basilius angegebenen Wege dargestellt.

Die Fabrikation an Vitriolöl, d. h. also an rauchender Schwefelsäure, lieferte in Böhmen im Jahre 1872 etwa 1700 t, man sieht, das ist sehr wenig; diese Art der Schwefelsäurefabrikation würde den heutigen Bedarf, der nach Zehntausenden von Tonnen geht, unmöglich decken können. Sie hatte sich im Laufe der Zeit nach Sachsen und dem Harz verbreitet, ohne sich in jenen Gegenden halten zu können, so ist zu Nordhausen Vitriolöl zuletzt 1838 erzeugt worden.

Daß sie neben der weit billigeren englischen Schwefelsäure (auf Benennung und Herstellung dieser Schwefelsäure kommen wir sehr bald) noch existenzfähig blieb, lag an folgendem. Englische Schwefelsäure hat höchstens einen Gehalt von 97% Schwefelsäure, während die rauchende Säure eine 100%ige Säure ist, in der noch Schwefelsäureanhydrid aufgelöst ist. Für die Zwecke, für die die englische Schwefelsäure zu schwach ist, und solcher gibt es eine ganze Anzahl, blieb sie daher Herrin des Gebiets, und da ihre Fabrikation an den böhmischen Schiefer gebunden war, hatten die dortigen Werke geradezu das Monopol ihrer Erzeugung, bis sich das seit 1875 änderte. Dazu kam, daß der Anilinfarbenindustrie selbst die Stärke der böhmischen Säure, die etwa 8% Anhydrid enthält, nicht genügte, der Bedarf nach immer stärkerer, d. h. weit anhydridreicherer Säure sich geltend machte, und so ist es denn schließlich dahin gekommen, daß heute das so furchtbar ätzende Schwefelsäureanhydrid als solches in größten Mengen hergestellt wird.

Den Anstoß zu dieser Industrie gab eine Arbeit des Prof. Winkler in Freiberg. Wir haben bei der schwefligen Säure erwähnt, daß sie durch Weiteroxydation bei Gegenwart von Wasser unter passenden Bedingungen in Schwefelsäure übergeht. Diesen Prozeß, nach welchem die englische Schwefelsäure hergestellt wird, werden wir bald ausführlich kennen lernen. Nun weiß man außerdem seit langem, daß die schweflige Säure und der Sauerstoff sich auch bei Abwesenheit von Wasser in Gegenwart gewisser Substanzen, die man Kontaktsubstanzen nennt, direkt miteinander zu Schwefelsäureanhydrid vereinigen.

Schweflige Säure + Sauerstoff = Schwefelsäureanhydrid
SO_2 + O = SO_3.

Die beste Kontaktsubstanz für die Vereinigung dieser beiden Gase ist ohne Zweifel feinverteiltes Platin, weil es sie schon unterhalb der Rotglut herbeiführt. Bei seinem hohen Preise bedient man sich nun in der Technik nicht des reinen Platins, sondern des platinierten Asbest, um eine möglichst große Platinoberfläche zu haben, ohne allzu viel Metall zu brauchen. Diesen erhält man so, daß man wolligen Asbest mit einer Platinlösung tränkt und hernach glüht. Bei einem Gehalt von 8% an Platin erweist er sich am wirksamsten.

Asbest ist die äußerst feinfaserige und haarförmige Varietät eines Minerals, das den Namen Grammatit führt. Er ist trotz seiner feinfaserigen Struktur vollkommen feuerfest.

Die älteren Versuche gingen nun alle dahin, das durch Verbrennen von Schwefel erhaltene schwefligsaure Gas, welchem also viel Stickstoff aus der Luft beigemischt ist, mit weiterer Luft zusammen über solchen Asbest zu leiten und es so mit Hilfe des Sauerstoffs der letzteren in Schwefelsäureanhydrid überzuführen. Die Masse des mitwandernden als Verdünnungsmittel wirkenden Stickstoffs erwies sich aber als so hinderlich bei dieser Synthese, daß sich wohl im Laboratorium die Bildung von etwas Schwefelsäureanhydrid zeigen ließ, daß aber von einer technischen Verwertung der Methode nicht die Rede sein konnte.

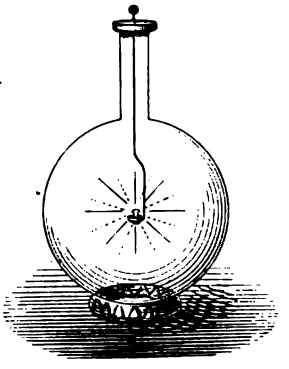
Vereinigen sich anderseits schweflige Säure, der Sauerstoff der Luft und Wasser leicht unter passenden Bedingungen zur wasserhaltigen Schwefelsäure — dieses ist der Prozeß der Darstellung der englischen Schwefelsäure — so zerfällt, was ebenfalls lange bekannt ist, die wasserhaltige Schwefelsäure „bei sehr hoher Temperatur" wieder in diese ihre Bestandteile, und mit Hilfe dieser Reaktion wird nun dies Schwefelsäureanhydrid hergestellt.

$$H_2SO_4 = SO_3 + O + H_2O$$

Schwefelsäure, zerfällt bei hoher Temperatur in schweflige Säure Sauerstoff Wasser.

Man läßt nämlich in eine eiserne, mit Porzellanstücken gefüllte Retorte, welche im Ofen möglichst stark erhitzt wird, die englische leicht zu habende Schwefelsäure tropfen. Bei der hohen Temperatur zerfällt sie in der angegebenen Weise, und aus der Retorte entweichen jetzt schwefligsaures Gas, Sauerstoffgas und Wasser in Gasform. Durch Abkühlen entfernt man den größten Teil des letzteren, den Rest absorbiert man vollständig mittels wasseranziehender Mittel, und so hat man schließlich ein trockenes Gemisch von schwefliger Säure und Sauerstoff, welches, wie wir uns sagen können, diese beiden Gase genau in dem Verhältnis enthalten muß, in welchem sie zur Bildung von Schwefelsäureanhydrid nötig sind. Leitet man dies Gemisch daher über den erhitzten platinierten Asbest, so vereinigt es sich mit Leichtigkeit zu Schwefelsäureanhydrid.

So ist denn in dieser modernen Fabrikation der uralten in Böhmen monopolisierten Gewinnung der rauchenden Schwefelsäure eine wahrscheinlich übermächtige Konkurrenz entstanden, die durch geschickte Übertragung von im Laboratorium längst ausgeführten Arbeiten auf die Praxis die chemische Industrie von dem Zufallsvorkommen jener böhmischen Schiefer unabhängig gemacht hat.



369. Flasche zur Gewinnung der Schwefelsäure.

Die englische Schwefelsäure, zu deren Fabrikation wir jetzt übergehen, hat ihren Namen daher, daß die Art ihrer Fabrikation in England ihren Ursprung genommen hat. Heute bereitet fast jedes Land die „englische" Schwefelsäure, die es braucht, sich selbst. Dieser Zweig der Technik hat eine lange Schule durchzumachen gehabt, bis er zu derjenigen Ausbildung gelangte, in der wir ihn heute sehen, wo eine weitere Vervollkommnung nach manchen Richtungen nicht mehr angänglich erscheint, denn es wird in der heutigen Praxis aus einer gegebenen Menge Schwefel fast genau diejenige Menge Säure gewonnen, welche sich der Theorie nach aus ihr berechnet. In der möglichsten Vereinfachung des Betriebes werden dagegen natürlich immerfort Verbesserungen angestrebt.

Sieht man die großen Einrichtungen einer modernen Schwefelsäurefabrik mit ihren Pyritöfen, ihren gewaltigen Bleikammern, hört in ihr vom Gloverturm und vom Gay-Lussacturm reden und erfährt gar, daß die Schwefelsäure schließlich in Platingefäßen eingedampft und trotzdem 1 kg von ihr für wenige Pfennige verkauft wird, so erscheint alles so kompliziert, daß man kaum hofft, den Zusammenhang des Ganzen in Kürze begreifen zu können. Da bietet denn, wie bei all derartigen Gelegenheiten, die Darlegung der allmählichen Entwickelung einer solchen Industrie den besten Weg, sie unserem Verständnisse näher zu bringen. Auf diesem Wege sieht man, wie sich eines auf dem anderen fußend, sozusagen organisch entwickelt hat, und indem es uns nicht schwer fällt, jene Denkprozesse in gegebener Reihenfolge unsererseits zu durchdenken, die zu den schließlichen Erfolgen mit ihren scheinbar so komplizierten Einrichtungen geführt haben, werden uns auch diese verständlich.

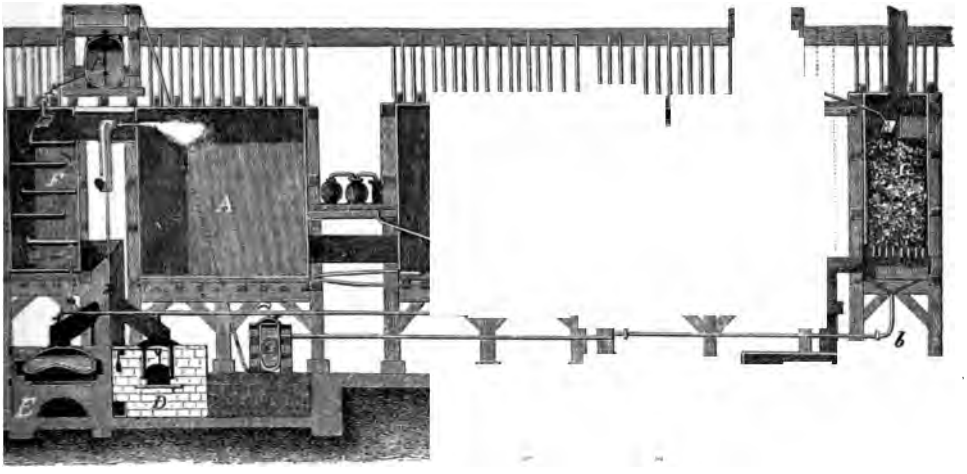
Daß das oleum vitrioli, die rauchende aus Vitriolstein gewonnene Schwefelsäure, identisch mit dem oleum sulfuris sei, einem Öle, das man aus Schwefel erhalten könne, hat zuerst Libavius 1595 behauptet. Dieses oleum sulfuris erhielt man durch Verbrennen von etwas Schwefel in einer feuchten Flasche. In ihr bildet sich aus der durch die Verbrennung entstehenden schwefligen Säure durch Weiteroxydation in ganz geringer

Menge Schwefelsäure. Dampft man nach mehrmaliger Wiederholung dieses Prozesses der Schwefelverbrennung die geringe Flüssigkeitsmenge, die in der Flasche jetzt vorhanden ist, ein, so hinterbleibt das oleum sulfuris, also eine geringe Menge von Schwefelsäure. Die Ausbeute an ihr ist so unbefriedigend, daß dies Verfahren technisch unbenutzt blieb, bis wahrscheinlich Lemery 1666 vorschlug, den Schwefel mit Salpeter gemischt in der feuchten Flasche zu verbrennen. Der Salpeter ist ein sehr sauerstoffreiches Salz, und so verbrannte nunmehr ein größerer Teil des Schwefels infolge der reichlicheren Sauerstoffanwesenheit zu Schwefelsäure, kurzum jetzt lohnte es, auf diesem Wege sich Schwefelsäure zu bereiten, und die Methode wurde die zu ihrer Gewinnung in den Apotheken übliche. Diese einfache Vorrichtung ist es nun, aus der sich die modernen Schwefelsäurefabriken allmählich entwickelt haben. Ein Alchemist Ward versuchte seit 1736, das Verfahren in etwas größerem Maßstabe durchzuführen, und sein bei Richmond in der Nähe von London gelegenes Werk ist die erste Fabrik für die englische Schwefelsäure gewesen. Er nahm Glasgefäße von etwa 100 l Inhalt, in die er etwas Wasser gab, stellte auf ihren Boden eine Steinzeugschale, brannte über dieser, die das Springen des Bodens verhindern sollte, das Gemisch von Schwefel und Salpeter ab, und konnte sehr bald die Säure zum fünften Teil des bisherigen Preises liefern. Schon 1746 ersetzte Roebuck die gläsernen Flaschen durch Bleikasten von mehreren Kubikmetern Inhalt, und nun beginnt ein allgemeines Bestreben in den betreffenden Kreisen nach Verbesserung des Verfahrens für diese Herstellung der Schwefelsäure, die in den verschiedensten Industrien sehr bald Verwendung und damit reichlichen Absatz fand. Schon 1774 ersah ein französischer Fabrikant die Kammern mit einer Dampfzuleitung, statt Wasser in sie zu gießen, und verbesserte dadurch die Ausbeute. Dann ermittelte Lavoisier in einer rein wissenschaftlichen Arbeit die bis dahin nicht sicher festgestellte Zusammensetzung der Schwefelsäure, und Clement und Desormes gaben 1806 die erste Theorie dieses Schwefelsäureprozesses, der damit das Stadium des empirischen Versuchens hinter sich hatte. Sie bewiesen, daß die Oxydation des Schwefels zur Schwefelsäure zum größten Teil durch den Sauerstoff der Luft erfolge, und daß der Salpeter nur den Sauerstoffüberträger bilde. Der Prozeß der periodischen Schwefelverbrennung in den Kammern wurde dann um 1810 durch einen kontinuierlichen ersetzt, indem man seitdem das Gemenge von Schwefel mit 8—12 % Salpeter nicht mehr in der Kammer, sondern in einem kleinen Ofen verbrannte, von dem aus man die Gase in die Bleikammern leitete. Später hat man dann den Schwefel und den an dessen Stelle hernach verwendeten Schwefelkies (siehe weiterhin), wie das noch heute üblich ist, für sich verbrannt und als Oxydationsmittel nicht mehr Salpeter benutzt, sondern statt dessen Salpetersäure in Schalen in die Bleikammern gestellt.

Die Einrichtung einer Schwefelsäurefabrik ist dadurch im Laufe der Zeit etwa folgende geworden.

Der Verbrennungsofen für den Schwefel befand und befindet sich an dem einen Ende des Apparates, der, möge er aus einer einzigen langen Bleikammer oder, wie gewöhnlich, aus mehreren durch Röhren verbundenen Kammern bestehen, immer einen kontinuierlichen Hohlraum bildet, welcher am anderen Ende einen Kamin hat, durch welchen der nötige Zug zum Durchgang der Gase durch das Ganze erzeugt wird. Indem nun der Schwefel, um bei diesem ersten Rohstoff für jetzt stehen zu bleiben, in dem Ofen auf von unten erhitzten eisernen Pfannen brennt, hat man durch Schieber in der Ofenthür den Luftzutritt dergestalt geregelt, daß mehr als das zur Unterhaltung des Brennens nötige Luftquantum zuströmen kann; der Überschuß erleidet natürlich keine Veränderung, und so gelangen aus dem Ofen zwei der nötigen Stoffe, schweflige Säure und Luft, gleichzeitig in die Bleikammern. Es werden aber noch zwei andere Mitarbeiter gebraucht, nämlich Wasserdämpfe und Salpetersäure. Zur Beschaffung der ersteren dient ein kleiner Dampfkessel, der seine Röhren in die verschiedenen Abteilungen des Apparates sendet. Die eindringenden Dampfstrahlen üben zugleich eine mechanische Wirkung nach aus, indem sie den Zug in den Kammern befördern. Was endlich den Salpeter betrifft, so hat man für dessen Ausnutzung verschiedene Wege. Die älteste Art war, wie erwähnt

die, daß man dem Schwefel gleich eine entsprechende Menge Salpeter beimischte, in welchem Falle dann mit der schwefligen Säure zugleich Stickoxydgas, welches eine Verbindung von Stickstoff mit Sauerstoff ist und sich unter diesen Bedingungen aus dem Salpeter bildet, in die Kammer gelangte. Das war jedoch mit mancherlei Unbequemlichkeit behaftet, und nachdem verschiedene andere Verfahren vorgeschlagen und probiert worden waren, blieb man endlich dabei stehen, statt des Salpeters die aus ihm herstellbare Salpetersäure (siehe weiterhin) von außen in einem dünnen Strahle in die erste Kammer, auf einen oder zwei Sätze übereinander stehender Schalen zu leiten, über die sie kaskadenartig herabrinnt, wobei ihre große Oberfläche die chemischen Wirkungen natürlich begünstigt. Dieses Verfahren ist bis heute im ganzen wenig verändert worden. Daß in diesem letzten Falle Salpetersäure, in dem ersterwähnten Stickoxyd in den Betrieb eingeführt wird, läuft für die Praxis auf eins hinaus, denn die Salpetersäure als solche kann sich beim Zusammentreffen mit schwefliger Säure keinen Augenblick halten, sie muß einen Teil ihres Sauerstoffs an diese abgeben, die eben dadurch zur Schwefelsäure wird; was von ihr übrig bleibt, ist salpetrige Säure. Unter den gegebenen Umständen kann diese aber auch nicht fortbestehen, sondern durch die vorhandene schweflige Säure wird ihr noch ein weiterer



870. Apparat für die fabrikmäßige Erzeugung der Schwefelsäure.

Anteil Sauerstoff entzogen, so daß Stickoxydgas entsteht, während die schweflige Säure durch diese Sauerstoff- und gleichzeitige Wasseraufnahme zur Schwefelsäure wird. Das Stickoxydgas vermag in der Bleikammer keinen Sauerstoff weiter abzugeben, dagegen nimmt es aus der gleichzeitig mit einströmenden Luft wieder Sauerstoff auf und wird hierdurch wieder zu salpetriger Säure, welche nun von neuem oxydierend auf vorhandene schweflige Säure wirken kann. Das Stickoxyd ist also der „Überträger des Sauerstoffs der Luft" und wird so lange Schwefelsäure bildend wirken, als es mit Luft, Wasserdampf und schwefliger Säure in Berührung kommt. Eine und dieselbe Menge Salpetersäure vermag also, und darin liegt der große Wert dieses Verfahrens, theoretisch unbegrenzte Mengen von schwefliger Säure in Schwefelsäure überzuführen; in der Praxis ist allerdings ein Verlust von einigen Prozenten Salpetersäure nicht zu vermeiden. Die Oxydation der schwefligen Säure zu Schwefelsäure erfolgt also, worauf nochmals hingewiesen sei, durch den Sauerstoff der Luft, oder kurzweg durch die Luft, und daher ist sie so wenig kostspielig, wenn der nötige allerdings recht große, aber dafür sehr leistungsfähige Apparat erst einmal in Betrieb gesetzt ist.

Da die Luft nur zu einem Fünftel aus Sauerstoff besteht, ist nur dies Fünftel für den Prozeß brauchbar, das übrige (Stickstoff) muß als unnützer Ballast aus dem Apparate wieder entlassen werden; hierbei entweicht auch ein Teil der aus der Salpetersäure sich bildenden Gase, und es wird hierdurch ein allmählicher Wiederersatz dieser nötig. Die Über-

führung der schwefligen Säure in Schwefelsäure findet also in Bleikammern statt, weil dieses Metall allein genügend der Schwefelsäure widersteht. Man hat sie im Laufe der Zeit immer weiter vergrößert und geht jetzt bei 5—10 m Breite und bei 12—15 m Höhe bis zu 100 m Länge. Man stellt sie aus gewalzten Bleiplatten her, und sie werden durch ein entsprechendes Gerüst, welches zumeist aus Holz gebaut ist, gehalten. Auch erbaut man sie in einer gewissen Höhe über dem Erdboden, um etwaige undichte Stellen sogleich wahrnehmen zu können. Sie sind mit den nötigen Einrichtungen versehen, durch welche die Gase in sie eintreten und aus ihnen austreten können, die zur Oxydation nötige Salpetersäure in sie einlaufen und die fertige Schwefelsäure, die sich am Boden sammelt, von Zeit zu Zeit oder kontinuierlich abfließen kann.

Die benutzten Bleibleche sind 2,5 bis 3,5 mm stark, und die Vereinigung der einzelnen Tafeln geschieht nicht durch Löten in gewöhnlicher Weise, sondern durch Aufeinanderschmelzen ihrer Ränder mittels einer mit Luft angeblasenen Wasserstoffgasflamme, deren hohe Temperatur für diesen Zweck notwendig ist. Den Rändern wird stets ein kleiner Überschlag gegeben, so daß das Blei an diesen Stellen doppelt liegt. Die in der Kammer entstehende Schwefelsäure löst ein wenig Blei als schwefelsaures Blei auf, welches sich wiederum in der Schwefelsäure auflöst. Da dieser Prozeß ununterbrochen vor sich geht, muß er sich doch, wenn auch das Blei von Schwefelsäure nur in sehr geringem Grade angegriffen wird, allmählich geltend machen. Man nimmt daher an, daß Kammern durchschnittlich 8 bis 10 Jahre halten, wobei sie in den letzten Jahren schon viele Reparaturen erfordern, es ist jedoch auch schon eine Dauer bis zu 25 Jahren beobachtet.

Links unten bei D und E lag meist in zwei Abteilungen der Schwefelbrennofen, der ehemals zugleich einen Dampfkessel mit heizte. Doch werden seit langem besondere Dampfkessel vorgezogen, weil die Dampfentwickelung nach dieser Art zu unregelmäßig war.

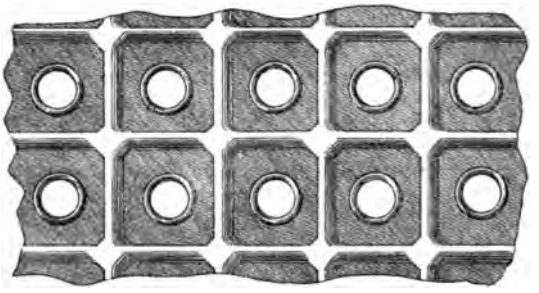
In der ersten schmalen Abteilung F des Apparats, deren staffelförmiges Innere später zu erklären ist, steigen die Dämpfe der durch den verbrannten Schwefel erzeugten schwefligen Säure auf und gelangen von oben rechts in die erste Kammer, ein starker Dampfstrom weist ihnen den Weg und fördert den Zug, reißt auch durch ein Rohr, das sich nach außen öffnet, noch mehr Luft ins Innere von A. In dieser Abteilung vollzieht sich somit eine innige Mischung von schwefliger Säure, Luft und Wasserdampf. In der folgenden, B, wird die Salpetersäure vermittelst der Rohrleitung a auf ihren Verteilungsapparat geleitet, und beginnt deren Einwirkung. In der großen Kammer C vollzieht sich dann der hauptsächlichste Teil der Säurebildung, und in sie wird auch der meiste Dampf eingelassen. In einer gewöhnlich noch folgenden Abteilung bildet sich zwar aus den bisher unverbundenen Resten noch etwas Säure, aber bis zur gänzlichen Erschöpfung kommt es auch hier nicht. Um daher die noch unbenutzt gebliebenen aus der Salpetersäure stammenden Gase möglichst zurückzuhalten, läßt man das Gas- und Dampfgemisch, bevor es durch den Schlot entweicht, in den nach seinem Erfinder benannten Gay-Lussacturm treten; hier bahnt es sich einen Weg durch eine Schicht Koks (G), welche aus einem höher stehenden Gefäß fortwährend mit konzentrierter Schwefelsäure durchtränkt werden. Im konzentrierten Zustande hat nämlich diese Säure die Fähigkeit, die nitrosen Dämpfe zu lösen und festzuhalten. Die salpetrige Säure verbindet sich hierbei mit der Schwefelsäure zur Nitrosylschwefelsäure, deren Lösung in konzentrierter Schwefelsäure, im Fabrikbetrieb nitrose Säure genannt, an und für sich sehr beständig ist; beim Verdünnen mit Wasser aber und nachherigem Erwärmen entweichen die Stickstoffsauerstoffverbindungen wieder und können so von neuem dem Betriebe zugeführt werden, welches die ehemalige Art ihrer Aufarbeitung war. Diese nitrose Säure sammelt sich unterhalb der Koks und fließt in einem Bleirohr b nach dem anderen Ende des Apparates, wo sie in dem Gefäße c ein einstweiliges Unterkommen findet. Von Zeit zu Zeit wird sie von hier entleert, indem durch eine Hahnvorrichtung der Rückweg gesperrt und ein Dampfweg aus dem Kessel geöffnet wird, man nennt solche Vorrichtung einen Montejus. Der auf die Oberfläche der Schwefelsäure wirkende Druck dieses Dampfes treibt sie durch das schräge Steigerohr in das Gefäß f, und von hier fließt sie in den sogenannten Gloverturm, der seit 1864 eingeführt ist und seinen Namen nach seinem Erfinder trägt. Dieser Turm ist mit säure-

festen Steinen ausgesetzt, und durch ihn leitet man auch das aus dem Ofen kommende schwefligsaure Gas.

So erfüllt er mehrere Zwecke gleichzeitig. Das in ihm aufsteigende heiße Gasgemisch wird so weit abgekühlt, wie es das Kammersystem erfordert. Seine Hitze geht aber nicht wie ehemals, wo man eigene lange Kühlleitungen anzubringen genötigt war, verloren, sondern konzentriert die ihr entgegenfließende nitrose Schwefelsäure, so daß dadurch beim weiteren Eindampfen derselben an Feuerung gespart wird.

Das Wichtigste ist aber, daß heiße Schwefelsäure nitrose Dämpfe nicht festzuhalten vermag, so daß diese wieder in die Bleikammern zurückwandern, und die Säure somit kostenlos im Gloverturm denitriert wird. Kurzum der Gloverturm stellt eine vorzügliche Vervollkommnung des ganzen Systems dar, und sein Erfinder war selbstlos genug, ihn sich nicht patentieren zu lassen, sondern den anderen Schwefelsäurefabriken als Geschenk zur Verfügung zu stellen.

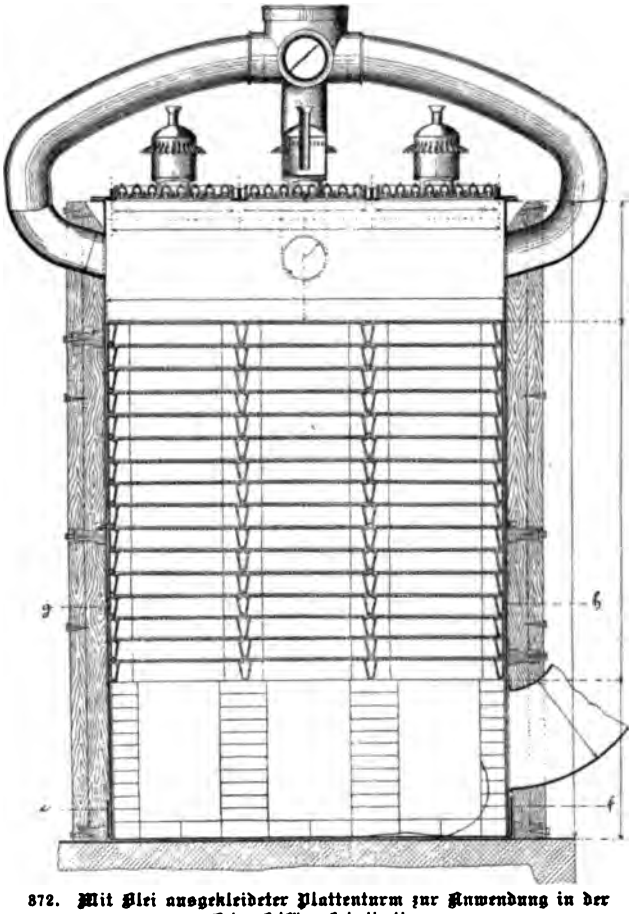
Die Gesamtausbeute an Schwefelsäure bei dieser Art der Fabrikation erreicht bei Verwendung von Rohschwefel 290 bis 300 Teile, während sich nach der Theorie 306 Teile berechnen, sie nähert sich also, wie erwähnt, der Theorie so weit, als es praktisch überhaupt möglich erscheint. Beim Verbrennen von Pyriten (s. weiterhin) kommt man auf 270 bis 280 Teile.



871. Stück von der Oberseite einer Platte, in welcher sich 1200 Löcher zu 6 mm Weite befinden.

Der bedeutende Kapitalaufwand, den die Anlage eines Bleikammersystems erfordert, und die hohen Reparaturkosten, die der Betrieb eines so umfangreichen Apparates mit sich bringt, geben dem Bestreben der Technik, die Schwefelsäurebildung auch in einem kleineren Raume mit billigeren Einrichtungen zustande zu bringen, gewiß Berechtigung. Nach mannigfaltigen Experimenten kann man diese Aufgabe mit dem von Lunge und Rohrmann konstruierten Plattenturm wohl als der Lösung bedeutend näher gebracht betrachten, wenn auch die Einführung der Neuerung sich nicht so schnell vollziehen wird. Das Prinzip dieser die ausgedehnten Bleikammern ersetzenden bleigefütterten verhältnismäßig kleinen Plattentürme beruht auf der innigsten, fortwährend sich erneuernden Mischung der Gase, Dämpfe und Nebelteilchen, die bei der Erzeugung von Schwefelsäure in gegenseitige Reaktion treten. Vorstehende Abbildung zeigt die Form der einzelnen den neuen Turm ausfüllenden Platten und deren Arrangement. Dieselben sind mit einem Netzwerke kleiner Leisten versehen, und in jedem der so gebildeten kleinen Quadrate befindet sich eine Durchbohrung mit erhabenem Rande, der jedoch weniger hoch ist als die Leisten selbst. Diese Platten werden in einem Bleiturm derartig aufeinander aufgeschichtet, daß unter der Durchlochung der einen der Vereinigungspunkt des Netzwerks der folgenden zu stehen kommt, so daß die im Turm herabrieselnde Flüssigkeit zu längstem Verweilen bei dennoch steter Bewegung genötigt ist. Passieren nun die in Reaktion tretenden Gase an Stelle der leeren Bleikammern diesen Apparat, während derselbe gleichzeitig mit verdünnter Schwefelsäure gespeist wird, so sind alle Vorbedingungen gegeben, um eine äußerste Annäherung zwischen den einzelnen Materien zu bewerkstelligen und den Prozeß im denkbar kleinsten Raume durchzuführen. Die hierbei freiwerdende Wärme verdampft das Wasser der herabrieselnden Schwefelsäure, wodurch wieder eine Temperaturerniedrigung eintritt, die die Schwefelsäurebildung begünstigt. Die Zahl der im Jahre 1896 bereits aufgestellten Plattentürme war eine schon recht bedeutende, und man berichtet von Mehrleistungen von 10 bis 48 % der Kammersysteme, die mit dem neuen Apparat kombiniert arbeiten, und manche Firmen haben schon ihre sämtlichen Kammersysteme durch Lunge-Rohrmannsche Apparate vervollständigt. Ausgezeichnet wirkt ferner der Plattenturm als Ersatz bezw. als Unterstützungs-

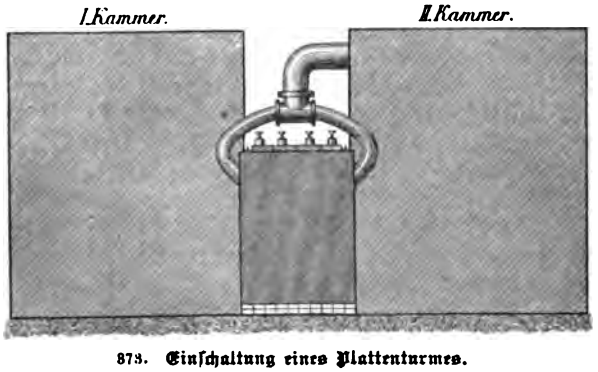
apparat des Gay-Lussacturmes, indem mit einer Plattensäule von 2 m Höhe das gleiche Resultat wie mit einem Koks Gay-Lussac von vierfacher Höhe geleistet wird. Zwischen der letzten Kammer eines bestehenden Bleikammersystems und dem Koksturm eingeschaltet, wirkt der Plattenturm außerdem als Regulator des Kammerganges, sichert einen gleichmäßigen Verlauf desselben und damit ein möglichst rentables Arbeiten.



872. Mit Blei ausgekleideter Plattenturm zur Anwendung in der Schwefelsäurefabrikation.

Bevor wir zur Konzentration der im Kammersystem erhaltenen Schwefelsäure übergehen, haben wir noch die Pyrite als Lieferanten der schwefligen Säure zu besprechen.

Wie bereits erwähnt, stieg im Jahre 1838 der Preis des sizilianischen Rohschwefels plötzlich in unerhörter Weise, und man wandte sich gezwungenermaßen anderen Schwefelquellen zu. Es finden sich nun in der Natur ungeheure Mengen von Schwefel an Metall, z. B. Eisen, gebunden unter dem öfters erwähnten Namen Pyrit. Beim Erhitzen an der Luft verbrennt er wie alle Schwefelmetalle. Den Prozeß nennt man Rösten; er spielte von jeher eine große Rolle in der Metallurgie, weil dort auf diesem Wege der Schwefelgehalt der Erze in Form von schwefliger Säure entfernt wird. Das Metall selbst verbrennt beim Rösten zu Oxyd z. B.



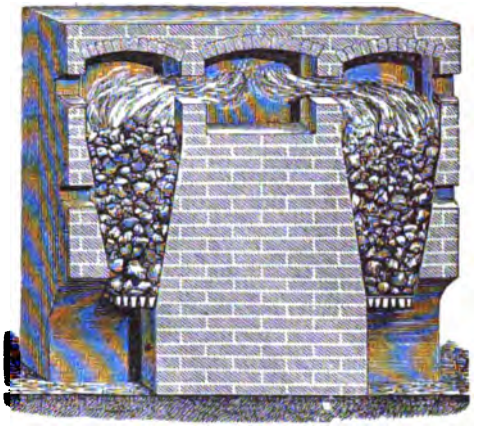
873. Einschaltung eines Plattenturmes.

Pyrit (Schwefeleisen)
$2\,FeS_2$
+ Sauerstoff aus der Luft
+ $11\,O$
= Schweflige Säure
= $4\,SO_2$
+ Eisenoxyd
+ Fe_2O_3.

In jenem Jahre gaben nun innerhalb weniger Monate so ziemlich alle englischen Fabriken den Gebrauch von Schwefel auf und begannen mit der Benutzung heimischer Pyrite. Man brennt sie etwa im umstehend abgebildeten Ofen, der aber sehr viel variiert worden ist, zumal jetzt auch sehr viel fast staubförmiger Pyrit verwendet wird. Die Öfen werden erst durch ein Kohlenfeuer stark erhitzt, hernach brennt dann der eingetragene Pyrit von

selbst weiter. Die Überlegung lehrt, daß, da das Metall zu Oxyd verbrennt, der Bedarf an Sauerstoff hier ein größerer ist, als in den ehemaligen Schwefelbrennöfen, daß infolgedessen aus diesen Öfen sehr viel mehr Stickstoff mit dem schwefligsauren Gas in die Kammern kommt als ehemals. Zur Ausgleichung hat man die Kammersysteme deshalb bedeutend vergrößern müssen.

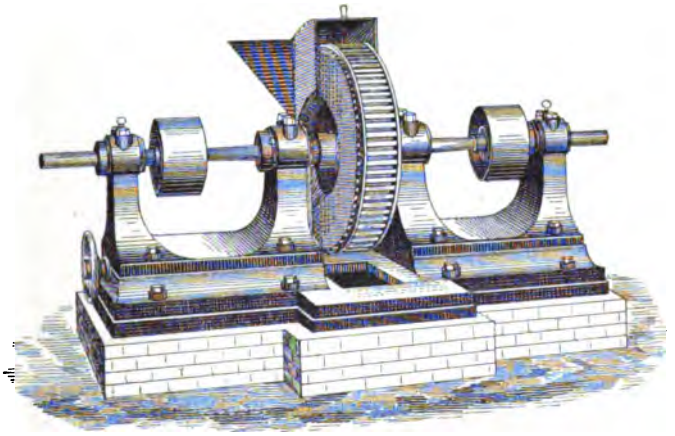
Die Rückstände aus den Pyritöfen sind also Eisenoxyd. Ursprünglich wurde dies als wertlos weggeworfen. Auch das hat sich, namentlich durch folgenden Umstand, völlig geändert. Es gibt nämlich viele kupferhaltige Pyrite, und bei dem hohen Werte des Kupfers kam es bald dahin, daß man die speziell in Spanien in größten Massen vorkommenden kupferhaltigen Pyrite in den Schwefelsäurefabriken an Stelle der einheimischen verarbeitete. Überall, wohin diese billig verfrachtet werden können, benutzt man sie, so daß z. B. in England englische Pyrite kaum noch Verwendung finden, weil die nachherige Kupferextraktion aus dem Eisenoxyd, aus den Pyritabbränden wie man das nennt, sehr lohnend ist.



374. Verarbeitung der Schwefelkiese auf schweflige Säure.

Hat man das Kupfer extrahiert, so hinterbleibt dann Eisenoxyd, welches an die Hochöfen verkauft wird, die aus ihm das Eisen ausschmelzen. Unsere deutschen Pyrite, wie sie z. B. in Schlesien, wo mit ihnen spanische Erze der hohen Fracht wegen nicht konkurrieren können, verarbeitet werden, sind kupferfrei, enthalten aber in jener Gegend leider etwas Zink. Dieser Zinkgehalt macht nämlich ihre nachherige Verwertung im Hochofen fast unmöglich, und trotz vieler darauf bezüglicher Patente ist bisher kein genügend billiges Verfahren, das sie zu entzinken gestattete, aufgefunden worden.

Wie in der chemischen Industrie fortwährend neue Probleme auftauchen, und in welcher Weise sie ihrer Lösung zugeführt werden, dafür sei uns hier die Entkupferung der spanischen Kiesabbrände ein Beispiel.

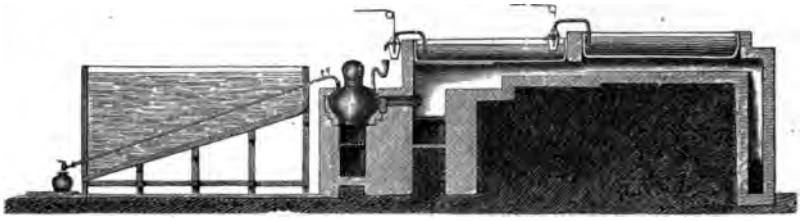


375. Desintegrator.

Die Rückstände speziell der Rio-Tintokiese, wie sie nach ihrem spanischen Heimatsort heißen, und welches die meist benutzten sind, enthalten, wenn sie die Kiesöfen verlassen, etwa 77 % Eisenoxyd, 4 % Schwefeleisen, nicht ganz 3 % Kupferoxyd und noch nicht 2 % Schwefelkupfer. Sie werden aufs feinste gemahlen, z. B. mit Hilfe von Desintegratoren, wobei man ihnen gleichzeitig 10—15 % Kochsalz, also Chlornatrium, zusetzt. Das Gemisch wird sodann im Flammofen calciniert, wobei etwa 75 % des vorhandenen Kupfers in Wasser lösliches Kupferchlorid übergeht, während der Rest nunmehr in Salzsäure löslich ist. Das calcinierte Material kommt sodann noch heiß in Auslaugekästen mit falschem Boden, die von ihm etwa 1000 kg fassen, wo es mit einer schwachen, von

einer früheren Verarbeitung herrührenden Lauge übergossen wird, die sich erwärmend kräftig einwirkt. Nachdem diese abgezogen worden ist, findet ein nochmaliges Laugen mit verdünnter Salzsäure statt, die den Rest des Kupfers auszieht. Weiteres sechs- bis siebenmaliges Ausziehen mit Wasser entfernt den Rest alles Löslichen. Der Rückstand enthält dann 96 % Eisenoxyd und wird von den Hochofenwerken gern gekauft.

Die konzentrierten, also die zuerst erhaltenen Laugen werden hierauf in folgender Weise zu Gute gemacht. Um die Spuren Silbers zu gewinnen, die sie enthalten, setzt man ihnen eine Jodzinklösung zu, welche das Silber als Jodsilber, stark mit Jodblei verunreinigt, ausfällt. Von diesem wird hierauf die Lauge, nachdem es sich abgesetzt hat, abgezogen. Man läßt sie sodann in Kästen laufen, die mit altem Eisenblech gefüllt sind, und kocht sie in ihnen durch Einleiten von Dampf auf. Eisen scheidet Kupfer aus seinen Lösungen ab, indem es an dessen Stelle in Lösung geht, und so ist die Flüssigkeit bald entkupfert. Das erhaltene Kupfer liegt als Schlamm am Boden und besteht nach dem Trocknen aus etwa 75 % Kupfer, während der Rest hauptsächlich Eisenoxyd, etwas Blei, sowie ein wenig Arsenik sind. Den Jodsilberniederschlag verwertet man nun so, daß man ihn, nach gründlichem Auswaschen mit Wasser, mit Salzsäure übergießt und metallisches Zink zugibt. Es scheidet sich Silber aus, während Zink als Jodzink in Lösung geht. Die so wieder erhaltene Jodzinklösung dient zu erneuter Fällung von Silber in einer späteren Lauge, so daß das Jod immer wieder in den Betrieb zurückkehrt.



376. Konzentration der Schwefelsäure.

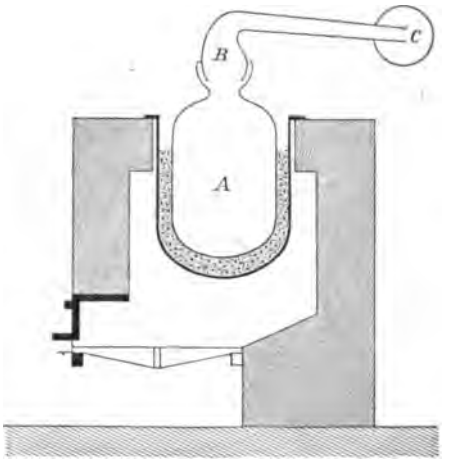
Der erhaltene Niederschlag besteht im Durchschnitt aus 26—30 % Silber, 0,03—0,08 % Gold nebst 48 % Blei u. s. w. Eine englische Fabrik erzielte bei sehr gutem Arbeiten nach diesem Verfahren 1896 folgende Resultate: 10 Millionen kg Abbrände ergaben 158000 kg metallisches Kupfer, gleich 1,6 %, 3109 kg Silberniederschlag enthaltend 26 % Silber und 0,031 % Gold. Wenn wir die 10 Millionen kg Abbrände rund gleich 20 Millionen kg Pyrit rechnen, so ergab diese Menge Pyrit also an Edelmetallen 810 kg Silber und 0,963 kg Gold, was etwa $^4/_{10000}$ % Silber und $^5/_{10000000}$ % Gold entspricht, die auf diesem Wege aus dem Rohmaterial noch gewonnen werden.

Die in den Bleikammersystemen erhaltene Säure hatte in älteren Zeiten höchstens einen Gehalt von 62—68 % Schwefelsäure. Der Rest war Wasser, welcher den Transport nur unnütz verteuert und zugleich die Verwendung einer noch größeren Anzahl der so zerbrechlichen gläsernen Ballons, in denen sie verschickt werden muß, verlangt hätte. Diejenige Säure, welche den Gloverturm, also jene oben besprochene Verbesserung des Systems, passiert hat, zeigt einen Gehalt von 77—80 %. Nur Fabriken, die so viel Schwefelsäure wieder verbrauchen, als sie selbst erzeugen, und das sind namentlich die Sodafabriken und die Superphosphatfabriken, können Säure von diesem Prozentgehalt direkt verwenden, für alle Verkaufszwecke kommt sie in konzentrierter Form in den Handel, muß also eingedampft werden.

Das Eindampfen geschieht in flachen bleiernen Pfannen, die in der Breite 2—3 m und das Vierfache in der Länge messen. Man bringt zwei, wie es Abb. 376 zeigt, auch drei oder vier Abdampfpfannen nebeneinander an, und zwar so, daß die am weitesten vom Feuer entfernte am höchsten, jede folgende etwas tiefer steht. In jeder der von unten geheizten Pfannen befindet sich Säure; die in der tiefsten Pfanne befindliche hat vorher alle höheren Pfannen passiert und in jeder einige Stunden gekocht. Hat sie die genügende Stärke erreicht, so wird sie abgelassen, und die leere Pfanne empfängt den

Inhalt der zunächst über ihr stehenden, welche sich wieder aus der folgenden füllt oder, sofern keine weitere vorhanden, mit roher Säure, wie sie die Kammern liefern, beschickt wird. So geht die Abdampfarbeit ohne Unterbrechung fort.

Die Erhitzung der Abdampfpfannen geschieht meistens von demselben Feuer aus, welches den gleich zu erwähnenden Platinkessel, und zwar diesen in nächster Nähe, heizt. Es dürfen aber natürlich wegen der Leichtschmelzbarkeit des Bleies nicht die Böden der bleiernen Pfannen mit der unter ihnen hinziehenden Feuerluft in direkte Berührung kommen; man schützt sie daher an den heißesten Stellen durch eine Lage stärkerer Ziegel, während man weiterhin schwächere und zuletzt Eisenplatten unter ihnen anbringt, so daß die Hitze möglichst gleichmäßig über die ganze Abdampffläche verteilt wird. Auf den Pfannen verliert die Säure so viel Wasser, daß sie schließlich etwa 77 prozentig wird. Eine weitere Konzentration ist in diesen nicht möglich, weil so starke Säure das Blei bereits reichlich löst. Diese muß entweder in Glasgefäßen oder in solchen aus Platin erfolgen. Die Konzentration in Glasgefäßen wird hauptsächlich noch in englischen Fabriken ausgeführt, während auf dem Festlande ganz allgemein sich die Platinblasen eingebürgert haben. So viele andere Methoden auch im Laufe der Zeit vorgeschlagen worden sind, so haben nur diese beiden Eingang in die Praxis gefunden.



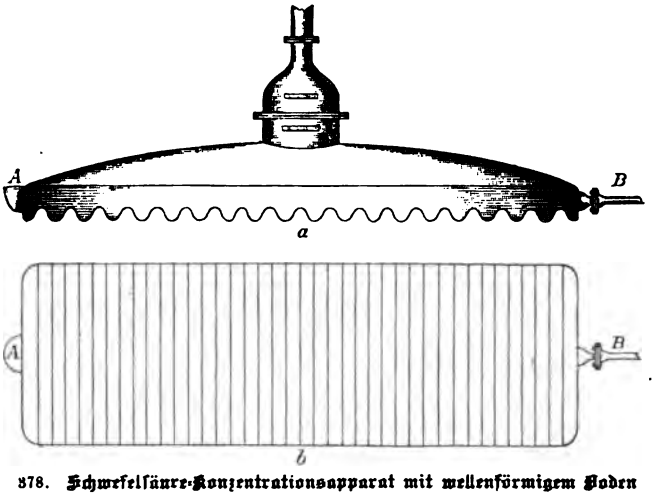
377. Konzentration der Schwefelsäure in Glasgefäßen.

Die sehr große Unbequemlichkeit, welche das Füllen und Leeren großer Glasretorten im Laboratorium bietet, zumal wenn es sich um solche mit konzentrierter Schwefelsäure handelt, die jeder, der dort mit ihnen zu thun hat, empfindet, ist in diesen Fabriken jetzt völlig überwunden. Die zur Konzentration benutzten Retorten bestehen nämlich gar nicht aus einem, sondern aus zwei Stücken. Der Teil A hat die Form einer Flasche mit ziemlich weiter Öffnung, und auf ihn paßt der Teil B, der die Form des Retortenhalses hat, ziemlich gut. Dieser Teil mündet in ein Rohr C, welches mit dem Kamin in Verbindung steht, so daß im Retortenhals stets ein Zug nach innen herrscht. Jede Retorte hat ihre eigene Feuerung, und damit ihr Erwärmen gleichmäßig erfolgt, liegt sie in einem Sandbade, d. h. sie steht in einem passend geformten gußeisernen Topf, und ist der Raum zwischen ihr und dessen Wand mit Sand ausgefüllt. Wird Säure von etwa 77 % auf eine Stärke von etwa 97—98 % gebracht, so geht nicht nur Wasser fort, sondern es destilliert schon ein Teil von ihr mit über. Will man die Säure gar 100prozentig haben, so kann man mit dem Eindampfen nicht eher aufhören, als bis auch das Destillat 100prozentig ist, was sehr lange dauert und dadurch sehr kostspielig wird. Dies ist denn auch der Grund, weshalb die gewöhnliche Handelssäure meist nur 97 %, nie mehr als 98 % hat. Beim Eindampfen der Säure entweicht also schließlich verdünnte Schwefelsäure. Deren Dämpfe würden den Aufenthalt im Konzentrationsraum ganz unmöglich machen. Bei der angegebenen Einrichtung werden sie durch das Bleirohr C angesogen, kondensieren sich in ihm und fließen als verdünnte Schwefelsäure irgendwo ab. Ist die Säure in den Glasgefäßen schließlich genügend konzentriert, so läßt man sie etwas erkalten und zieht sie jetzt nach dem Abnehmen des Halses mittels Hebers aus der Retorte heraus, worauf man passend vorgewärmte neue Säure von den Bleipfannen her einfließen läßt.

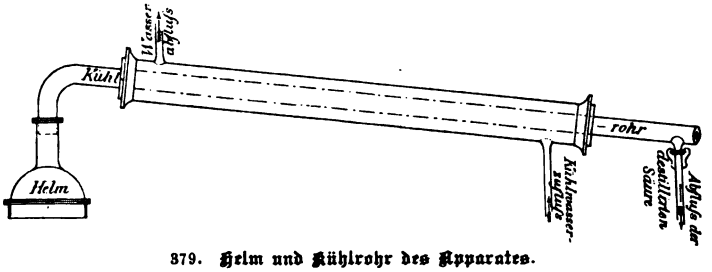
Im Destillationshause herrscht stets eine Temperatur von 25—30°, und Doppelthüren und Doppelfenster sorgen für Fernhalten jeden Zuges, welcher die hauptsächlichste Veranlassung zum Springen der Retorten abgibt. Nach sechs Wochen ersetzt man die Retorten durch neue, und beim Einhalten aller dieser Vorsichtsmaßregeln kommt ein

Springen derselben sehr selten vor. Man sieht, daß es sehr wohl möglich ist, auf diesem Wege große Mengen Schwefelsäure in Glasgefäßen zu konzentrieren.

Sehr bemerkenswert ist ferner, daß es in neuerer Zeit gar gelungen ist, die Retorten zu einer Art von Batterie zu vereinigen. An eine jede von ihnen sind zu dem Zwecke im flaschenförmigen Teil zwei Tubulusse angeblasen. Durch den einen Tubulus wird schwache Säure vermittelst eines Glasrohres bis auf den Boden der Retorte geleitet, der zweite Tubulus, der sich am oberen Rande der Flüssigkeit befindet, leitet den Inhalt dieser Retorte vermittelst Glasrohrs wiederum auf den Boden der nächsten, und so geht es durch sechzehn Retorten fort. Bei passender Feuerung läuft dann aus der sechzehnten die Säure in der gewünschten Stärke ab. Die Leistung einer solchen Batterie ist, da alles Füllen und Leeren der Retorten sich mechanisch besorgt, eine ganz erstaunliche. Sie liefert von Montag Morgen bis Sonnabend Mittag — in England hören die Fabriken schon Sonnabend Mittag mit der Arbeit auf — etwa 46000 kg konzentrierte Säure und braucht zu ihrer Bedienung nur einen Mann und einen Handlanger.



378. Schwefelsäure-Konzentrationsapparat mit wellenförmigem Boden von G. Siebert in Hanau.



379. Helm und Kühlrohr des Apparates.

Wir kommen nun zur Konzentration in Platingefäßen.

Daß die Schwefelsäure beim Eindampfen in Bleigefäßen in der Hitze schon reichlicher Blei löst, ist für viele Zwecke unbedenklich, für manche aber doch störend. Sobald sie aber so weit konzentriert ist, daß sie anfangen würde, Schwefelsäuredämpfe auszugeben, muß sie also weiter, wenn keine Glasgefäße benutzt werden, in einem Destillierapparat aus Platin, weil dies Metall allein ihr genügend widersteht, konzentriert werden. Wie ein solcher hinter den Bleipfannen eingeschaltet wird, sehen wir auf Abb. 376. Man hat sich selbstverständlich die größte Mühe gegeben, um am teuren Platin zu sparen — Platin kostete vor einigen Jahren an 2500 Mk. das Kilogramm, jetzt mag es sich wieder auf 1600 Mk. stellen — die Apparate so zu konzentrieren, daß sie bei mintmalstem Platingebrauch eine möglichst hohe Leistung haben, und noch fortwährend tauchen Verbesserungsvorschläge für ihre Form auf. Auch sind jetzt innen vergoldete Platinapparate im Gebrauch.

Wir geben in unserer Abbildung einen Konzentrationsapparat nebst Kühler wieder, wie ihn jetzt die Platin-Affinerie von G. Siebert in Hanau liefert. Der wellenförmige Boden der Blase hat den Zweck, die Heizfläche zu vergrößern. Bei A findet die Füllung des Apparates statt, während durch B die Schwefelsäure nach ihrer Konzentrierung abgelassen wird. Durch das Platinkühlrohr im kupfernen Mantel, zwischen welchen Kühlwasser zirkuliert, wird die während der Konzentration übergehende verdünnte Schwefelsäure kondensiert. Anfangs besteht sie aus Wasser mit wenig Säure, sobald aber die

Temperatur der siedenden Säure in der Blase auf 310—320° gestiegen ist, verdichtet sich auch im Kühlapparat eine recht konzentrierte Säure. Meist bringt man im Inneren der Platinblasen, wenn sie nicht so niedrig wie die abgebildete gehalten sind, eine Art von Ring an, der die sich zu Beginn der Konzentration noch unterhalb des Helms verdichtende wasserreiche Flüssigkeit hindert, in die siedende Säure zurückzulaufen, sondern sie nach außen ableitet.

Wie wir sahen, ist die rauchende Schwefelsäure eine Auflösung von Schwefelsäureanhydrid SO_3 in Schwefelsäure H_2SO_4, und die englische Schwefelsäure nur etwa 97prozentig. Durch Mischen beider kann man sich nötigenfalls eine genau 100prozentige Säure herstellen, was für die Fabrikpraxis kein bequemes Verfahren ist.

Bis in die Mitte der achtziger Jahre hatte man auch in dieser gar keine genau 100prozentige Säure nötig. Damals kamen aber in der Anilinfarbenindustrie die substantiven Farbstoffe auf — wir werden später bei diesen Farben erfahren, was das bedeutet — und zu deren Herstellung bedarf man gewisser Zwischenprodukte, die sich nur mittels 100prozentiger Säure herstellen lassen. Kaum war so das Bedürfnis nach ihr entstanden, als es auch schon nach kurzer Zeit befriedigt wurde. Schwefelsäure scheidet, was natürlich sehr lange bekannt ist, wenn man sie der Winterkälte aussetzt, Krystalle aus, welche je nach der Konzentration der angewandten Säure die Zusammensetzung H_2SO_4 oder $H_2SO_4 + H_2O$ haben, also ohne oder mit Krystallwasser anschießen. Die ersten Krystalle müssen doch, wenn man sie aus der Flüssigkeit herausnimmt und hernach wieder schmelzen läßt, die 100prozentige Säure geben, die denn auch auf diesem Wege im Großen dargestellt wird. Vermittelst einer Eismaschine kühlt man konzentrierte englische Säure, der man etwas rauchende Säure zugesetzt hat, unter 0° ab, sie liefert sehr bald die krystallwasserfreien Krystalle der Formel H_2SO_4. Hat man erst einmal diese Krystalle, so kann man sie hernach auch direkt aus der konzentrierten englischen Säure gewinnen. Denn kühlt man diese stark ab und fügt ihr jetzt etwas von ihnen zu, infiziert sie mit ihnen, wie man sagt, so veranlassen sie — das ist eine Erscheinung, die man bei vielen Krystallisationen beobachtet — die sofortige Abscheidung der gleichen Krystalle. Die so erhaltenen Krystalle trennt man sodann durch Zentrifugieren von der Mutterlauge und läßt sie bei gewöhnlicher Temperatur zu 100prozentiger Säure zerfließen, ihr Schmelzpunkt liegt nämlich schon bei + 10°.

Von der Menge der Schwefelsäure, welche produziert wird, und von ihrem mittleren Wertstand wird uns folgende, auf das Deutsche Reich bezügliche Tabelle ein Bild geben.

Jahr	Zahl der betriebenen Werke		Gewinnung	
	Hauptbetriebe	Nebenbetriebe	Menge in Tonnen zu 1000 kg	Wert in Mark
1884	60	12	345 100	14 787 000
1886	65	10	352 700	12 666 000
1888	65	10	398 800	13 473 000
1890	63	10	464 000	15 316 000
1892	61	10	488 000	14 864 000
1893	61	11	522 000	15 763 000

Hieraus ergibt sich, daß 1000 kg Schwefelsäure im Jahre 1884 etwa 43 Mark, 1893 noch etwa 30 Mark wert waren. Im Jahre 1894 haben sie nur noch 27¾ Mark gegolten. Wir kommen vielleicht zu einer klareren Vorstellung von der Menge der im Jahre 1893 allein im Deutschen Reich erzeugten Schwefelsäuremenge, wenn wir uns überlegen, daß die 522000 t, 52200 Eisenbahnwaggonladungen entsprechen. Rechnen wir 30 Waggons auf einen Zug, so sind das 1740 Güterzüge im Jahre oder fast fünf an jedem Tage. Die Ausfuhr an Schwefelsäure aus dem Deutschen Reich im Jahre 1896 betrug 23800 t.

Die Verwendung der Schwefelsäure in der Technik ist eine außerordentlich mannigfaltige. Allen voran steht der Verbrauch für die Soda- und für die Superphosphatfabrikation, nebst Herstellung des schwefelsauren Ammoniaks; diese drei absorbieren neun Zehntel

aller überhaupt fabrizierten Säure. Dann dient sie, wie wir sehen werden, zur Gewinnung von Salpetersäure, Stearinsäure, Flußsäure, Kohlensäure u. s. w., zur Herstellung des Äthers, Gewinnung des Phosphors, Broms, Jods, zur Scheidung des Goldes vom Silber. Außerdem spielt sie jetzt eine große Rolle bei der Gewinnung von Anilinfarbstoffen. Sie hilft die Schießbaumwolle und auch die Pikrinsäure für den Melinit herstellen. Sie dient zum Lösen von Indigo, zur Reinigung von Erdöl, Paraffinöl und Erdwachs. Sie verwandelt Papier in Pergamentpapier, führt die Stärke in Traubenzucker (Stärkezucker) über. Damit mögen die wichtigsten Industrien, die sie meist in konzentriertem Zustande verwenden, genannt sein. Diejenigen, die sie in verdünntem Zustande brauchen, auch nur annäherungsweise aufzählen zu wollen, ist kaum möglich. In verdünntem Zustande dient sie z. B. zum Reinigen der Eisenbleche, die hernach verzinnt oder verzinkt werden sollen. Also an der Herstellung jeder Konservenbüchse hat sie ihren Anteil. Ja selbst auf die Verbilligung der Kleidungsstoffe erstreckt sich ihr Einfluß, indem sie zum Karbonisieren der Kunstwolle dient.

Bei den sehr unbestimmten Vorstellungen, die über diese ihre Leistung zumeist verbreitet sind, sei der Verlauf dieser Fabrikation hier gleich beschrieben, weil sich später keine Gelegenheit dazu bietet, während wir viele sonstigen Verwendungen der Schwefelsäure noch weiterhin kennen lernen. Der Körper der Schafe und gewisser kleinasiatischer Ziegenarten ist mit verschieden gestaltetem, fein wellig gekräuseltem oder schlichtem Haar bedeckt, welches man Wolle nennt. Beide Arten sind gleichzeitig beim Moufflonschaf vorhanden, dagegen trägt das berühmte Merinoschaf nur gekräuseltes, das englische Cheviotschaf nur schlichtes Haar. Bei Gegenwart beider Wollarten, sowie bei grober Wolle zeigt das Haar einen mehr oder weniger stark hervortretenden Markstrahlenkanal. Das markfreie Haar ist stets das wertvollste. Aus der gekräuselten kürzeren Wolle gewinnt man Streichgarne für Tuche, aus dem schlichteren längeren Haar das Kammgarn für Kammgarngewebe. Mit Kunstwolle bezeichnet man nun diejenige Wolle, die aus Lumpen, Schneiderabfällen, aus Weberei-, Wirkerei- und Strickereiabfällen wiedergewonnen wird.

Die fabrikmäßige Herstellung der Kunstwolle ist neueren Datums. Den Anstoß gab die Baumwollkrisis in England in den fünfziger Jahren, zu welcher Zeit auch die erste Maschine zu diesem Zweck in Betrieb gesetzt wurde. Die erste Kunstwollfabrik in Deutschland und zwar in Köln wurde durch Gustav Köber errichtet. Die Anregung zur Fabrikation hatte er in England während eines längeren dortigen Aufenthalts empfangen, doch verlegte er seine Fabrik hernach nach Mannheim, wo er sehr bald zu großem Erfolg kam. Hier machte er auch seine bedeutende Entdeckung, die die Kunstwollindustrie eigentlich erst zu dem machte, was sie heute ist. Hier erfand er die Karbonisation der Lumpen. Dies Verfahren besteht darin, daß man in halbwollenen, d. h. baumwollehaltigen Lumpen durch Einwirkung von Schwefelsäure und hernach erfolgendes scharfes Trocknen die Baumwolle zerstört und so die Wolle aus diesen Lumpen als solche wiedergewinnt, da die Wolle von der Schwefelsäure unter diesen Bedingungen wenig angegriffen wird.

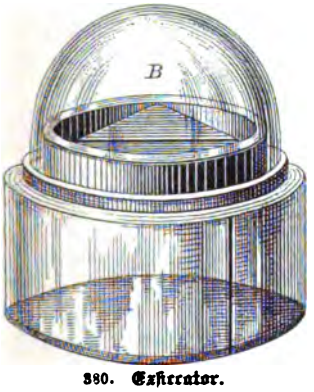
Das Material, welches in diese Fabriken kommt, ist je nach der Gegend, in welcher die Lumpen gesammelt worden sind, sehr verschieden. England liefert meist Lumpen aus langhaariger gröberer Wolle, die überdies schmutzig und feucht sind, Norddeutschland und Österreich liefern solche aus tuchartigen Streichwollstoffen. Italienische Lumpen sind meist sehr rein, aber durch den Gebrauch sehr abgenutzt, russische sind staubig und erdig, auch die Türkei und der ganze Orient liefern viele Lumpen. Vor der Verarbeitung werden sie zerschnitten und alsdann mit Hilfe einer Maschine möglichst entstäubt.

Von größter Wichtigkeit ist das nun folgende Einölen, wobei die Beschaffenheit des Öles wesentlich ist. Das Zerreißen des geölten Materials, wenn es sich um reinwollene Lumpen handelt, erfolgt auf besonderen Mungo- oder Shoddyreißmaschinen. Die kurze Mungo wird mit guter Wolle gemischt versponnen, während die längere Shoddy für sich allein wieder versponnen werden kann.

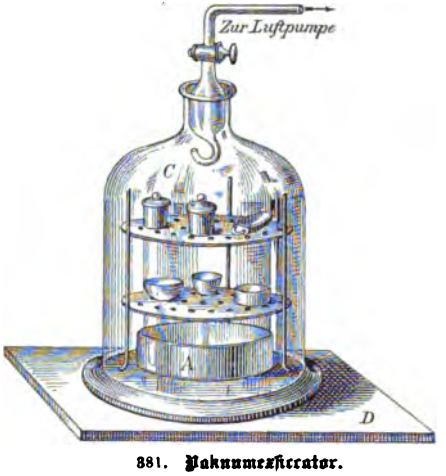
Halbwollene Lumpen, und die gibt es heutzutage am meisten, müssen also vor dem Zerreißen karbonisiert, d. h. von ihrer Baumwolle befreit werden, und das erfolgt so. Man bringt die halbwollenen Lumpen bis zu 12 Stunden in mit Blei ausgeschlagene

Bottiche, in welchen verdünnte Schwefelsäure von 5—8 % (4—7 Beaumé) enthalten ist. Nach dieser Zeit wird diese Naßbeize durch Zentrifugieren möglichst abgeschleudert, worauf die feuchte Masse erst bei 40—50° getrocknet und dann bei 90—95° karbonisiert, gebrannt wird, wie die Fabrikanten sagen. Nach dem Karbonisieren klopft eine Maschine die zu Pulver zerfallene Baumwolle aus dem Material heraus. Die karbonisierte Wolle ist natürlich weniger gut als Shoddy und Mungo, die kein Schwefelsäurebad passiert haben, läßt sich aber sehr wohl mit verspinnen.

Die Fabrikation der Kunstwolle inklusive der Karbonisation ist heute über alle Industriestaaten der Welt verbreitet, und sie liefert jährlich mehrere hundert Millionen Kilogramme nochmals verspinnbarer Wolle aus den Lumpen zurück. Dadurch lassen sich Wollstoffe weit billiger als ehemals herstellen, und dies ist wohl mit einer der Gründe, daß die Bekleidung auch der weniger wohlhabenden Volksklassen sich in den letzten dreißig bis vierzig Jahren so sehr gebessert hat, indem jetzt Wollstoffe, wenn auch nicht von erster Qualität, viel billiger als früher geworden sind. Ja man sieht nicht einmal mehr so zerlumpte Bettler wie auf den Bildern noch aus der Mitte des Jahrhunderts, indem diese jetzt weit leichter noch gut erhaltene Kleidungsstücke geschenkt bekommen als ehemals, wo deren Ersatz durch neue mit so viel bedeutenderen Kosten verknüpft war, was auch die Wohlhabenden veranlaßte, sie in weit höherem Maße abzunutzen.



380. Exsiccator.



381. Vakuumexsiccator.

Der Chemiker im Laboratorium kommt bei seinen tausendfältigen Zerlegungen, Zusammensetzungen und Prüfungen fortwährend in die Lage, sich der Schwefelsäure als eines unentbehrlichen Hilfsmittels bedienen zu müssen. Sehr groß ist die wasseranziehende Kraft der konzentrierten Säure, von der er häufig Gebrauch macht. Ein abgeschlossener Raum kann durch Einstellen einer offenen Schale mit ihr völlig ausgetrocknet werden. Diese bequeme Trockenmethode wird häufig zum Austrocknen von Stoffen benutzt, die kein Erwärmen vertragen. Zugleich sind sie in solchem Raume vor Staub geschützt und ziehen, wenn sie einmal trocken sind, nicht von neuem Feuchtigkeit an. Man bezeichnet die Apparate, die nur aus einer Glasglocke und aus einer Schale mit Schwefelsäure bestehen, als Exsiccatoren. In dem kleineren B, in welchen man Schwefelsäure direkt auf den Boden gießt, bewahrt und transportiert man die zu quantitativen Analysen bestimmten Substanzen. Exsiccator C, bei welchem die Glasglocke auf der Glasplatte D möglichst gut aufgeschliffen, trägt einen Hahn, und verbindet man ihn vermittelst dieses mit einer Luftpumpe, so kann man die Luft leicht aus ihm heraussaugen und so das Trocknen über der im untersten Gefäße A befindlichen Schwefelsäure im luftleeren Raume besorgen. Letztere Art nennt man Vakuumexsiccatoren. In ihnen läßt sich, wie wir sehen, die scheinbar so schwierige Aufgabe, Gegenstände im luftleeren Raum zu trocknen, also auf das bequemste ermöglichen. Wenn man will, kann man den Apparat natürlich warm stellen, oder eine Heiz-

schlange durch ihn durchführen und so das Trocknen im luftleeren Raum bei höherer Temperatur ausführen.

Leitet man durch konzentrierte Schwefelsäure Luft oder andere gasförmige Körper, wie wir es in Abb. 382 sehen, auf der das Gas eine zur Hälfte mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllte Flasche passieren muß, so entzieht sie auch derartigen Gasen ihre Feuchtigkeit und trocknet sie aus. Eine technische Verwendung dieser Eigenschaft lernten wir S. 373 kennen, denn das erwähnte Trocknen des Gasgemisches von schwefliger Säure und Sauerstoff für die Fabrikation von Schwefelsäureanhydrid wird so bewirkt, daß man es durch einen mit Koks gefüllten Turm steigen läßt, über welche von oben her konzentrierte Schwefelsäure herabrinnt, was wir an jener Stelle nicht erwähnten, weil es zu lange Erklärungen erfordert hätte.

Wir haben nun noch in Kürze zwei weitere Verbindungen anzuführen, in denen der Schwefel technische Verwertung findet. Es sind der Schwefelkohlenstoff und der Chlorschwefel.

Schwefelkohlenstoff ist die Verbindung des Schwefels mit dem Kohlenstoff und zeigt das Verhalten einer sehr flüchtigen Essenz, der man es kaum zutrauen möchte, daß sie von einem so soliden Elternpaar wie einem Stück Schwefel und einem Stück Kohle abstammt. Die Verbindung wurde von Lampadius in Freiberg 1796 entdeckt. Der Schwefelkohlenstoff bildet eine wasserhelle, stark lichtbrechende Flüssigkeit und hat im rohen Zustande einen widrigen Geruch nach faulen Rüben. Er ist sehr flüchtig, leicht entzündlich und feuergefährlich, schwerer als Wasser, mischt sich nicht mit diesem und wird daher am besten unter einer Wasserschicht aufbewahrt. Der Wert des Schwefelkohlenstoffs liegt in seiner großen Lösungskraft für harzige und fette Stoffe, sowie für Schwefel, Jod u. s. w. Seine Anwendung im großen gehört aber erst der neueren Zeit an und knüpft sich vorzüglich an die Industrie des Kautschuks, für welchen Stoff er, ebenfalls wie für Guttapercha, ein vorzügliches Lösungsmittel ist, und bei dessen Vulkanisieren er Verwendung findet (s. S. 387).

382. Flasche zum Waschen und Trocknen der Gase.

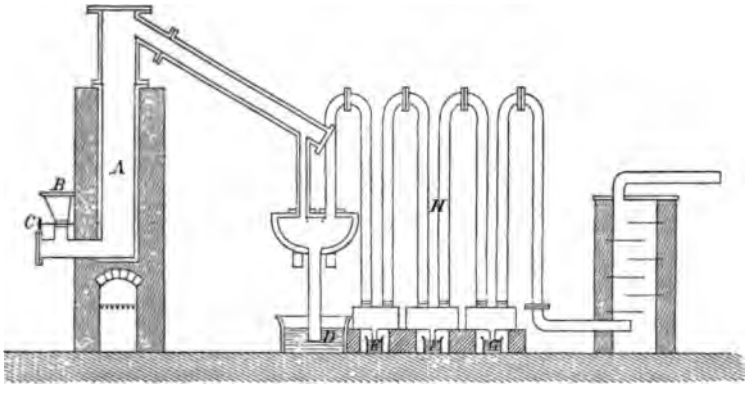
Bei der Fabrikation des Schwefelkohlenstoffs kommt es darauf an, Schwefeldämpfe durch glühende Holzkohlen streichen zu lassen. Hierbei geht die Vereinigung der beiden Elemente (1 Gewichtsteil Kohle und 5,33 Gewichtsteile Schwefel) vor sich, und das Produkt braucht nur in einer Kühlvorlage verdichtet und in einem Gefäß unter Wasser aufgefangen und gereinigt zu werden. Der allgemein auf dem Festlande hierzu verwendete Apparat hat im großen und ganzen immer folgende Einrichtung.

Der gußeiserne Cylinder A wird, um ihn gegen die Einwirkung des Schwefels zu schützen, innen mit einer Lage von feuerfestem Thon ausgekleidet und sodann mit Holzkohle angefüllt. Sobald diese in ihm durch die Außenfeuerung ins Glühen gekommen ist, füllt man die Trichter B mit Schwefel. Durch die drehbare Klappe C fällt er in den unteren Teil desselben und verdampft hier in der Hitze. Seine sodann die glühende Holzkohle passierenden Dämpfe verbinden sich mit dieser zu Schwefelkohlenstoff, welcher nun in der Kühlvorrichtung H zur Flüssigkeit kondensiert wird. Der flüssige Schwefelkohlenstoff sammelt sich unter Wasser, er ist ja weit schwerer als dieses, in den Näpfen D, E, F, G. Mit ihm gleichzeitig entsteht immer infolge des Wasserstoffgehalts der Holzkohle etwas Schwefelwasserstoff, jenes wie faule Eier riechende Gas. Damit dieses nicht die Umgebung verpestet, endet deshalb die Kühlvorrichtung in einem Turm, in welchem dies Gas über ein Gemisch von gebranntem Kalk und Eisenoxydhydrat hin und her streichen muß, welches Gemisch es absorbiert.

Die englischen Fabrikanten wenden weit kompliziertere Apparate an, so benutzen sie statt eines Turmes zwei, indem sie in dem ersten irgend ein vegetabilisches Öl in Schalen aufstellen, welches den Rest der Schwefelkohlenstoffdämpfe aufnimmt, die hernach durch Abdestillieren aus diesem Öl gewonnen werden u. s. w. Die Ausbeute an Schwefelkohlenstoff soll nach ihren Angaben nur gut werden, wenn die Temperatur der Retorte

genau auf Kirschrotglut gehalten wird, sowohl höhere als geringere Hitze setzen sie sehr herab.

Das in den Vorlagen unter Wasser sich ansammelnde Destillat ist gelb gefärbt und besteht aus einer Lösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff. Die starke Lösungskraft des letzteren gegen den ersteren macht sich also schon im Apparat selbst geltend, indem der eben gebildete Schwefelkohlenstoff sich mit vorhandenen, noch unverbundenen Schwefeldämpfen sättigt. Um das Rohprodukt vom Schwefel zu befreien und auch sonst zu reinigen, destilliert man es noch einmal bei gelinder Wärme in eine kalt gehaltene Vorlage ab. Dann bringt man es, wenn man nach englischer Art arbeitet, in einen cylindrischen Behälter von etwa 80 cm Durchmesser und 1,8 m Höhe, so daß es ihn zu einem Drittel füllt. Am Boden desselben liegt eine mit feinen Löchern versehene Bleischlange, durch die man mit einer Druckpumpe Kalkwasser treibt. Indem dieses in feiner Verteilung durch den Schwefelkohlenstoff dringt, entzieht es ihm den Rest des Schwefelwasserstoffs u. s. w. Das Waschen wird fortgesetzt, bis das den Behälter durch ein Überlaufrohr verlassende Kalkwasser völlig klar abläuft. Den Schwefelkohlenstoff läßt man sodann in eine Blase fließen, in welche man außerdem etwa 1 % seines Gewichtes eines billigen vegetabilischen Öls gibt, welches erfahrungsgemäß ebenfalls zurückhaltend auf schlechtriechende Stoffe wirkt, und bedeckt ihn einige Zentimeter hoch mit Wasser, dem man etwas Bleizuckerlösung zusetzt, damit



383. Apparat zur Schwefelkohlenstoffdarstellung.

dieser etwaige ihn jetzt noch verunreinigende Schwefelverbindungen als Schwefelblei bindet. Hierauf destilliert man ihn wiederum aus einem Wasserbade ab.

Der Chlorschwefel, zu dem wir jetzt übergehen, wird so erhalten, daß man Schwefelblumen in eine tubulierte Retorte, welche mit einer Vorlage verbunden ist, bringt, und nun unter Erwärmen durch die Retorte so lange Chlorgas leitet, bis fast aller Schwefel sich in eine rotgelbe Flüssigkeit verwandelt hat. Diese Flüssigkeit trennt man vom unverbraucht gebliebenen Schwefel durch Destillation. Angenehme Eigenschaften hat sie gerade nicht. Sie besitzt nämlich einen erstickend widrigen Geruch, schmeckt sauer und zugleich bitter, ihr Dampf reizt die Augen zu Thränen, reizt auch die Respirationsorgane, bewirkt nämlich Ausfluß einer wässerigen Flüssigkeit aus Mund und Nase, ferner Husten u. s. w. Kurzum man muß recht vorsichtig mit ihr umgehen, und nur ihre große Brauchbarkeit zum Vulkanisieren des Kautschuks, für welchen Zweck keine zweite ihr gleichkommende Flüssigkeit bisher zu finden gewesen ist, erklärt ihre technische Verwendung.

Mit dem Vulkanisieren des Kautschuks verhält es sich folgendermaßen: Kautschuk ist bekanntlich der eingetrocknete Milchsaft einiger in den Tropen vorkommenden Bäume, er stellt eine zusammenhängende, bei gewöhnlicher Temperatur ziemlich harte Masse dar, aus der die Indianer seit undenklichen Zeiten Flaschen und ähnliches herzustellen wußten. Seine direkte Anwendbarkeit für technische Zwecke leidet aber darunter, daß er in der Kälte sehr hart, in der Wärme dagegen bald weich wird, auch gegen chemische Agentien nur wenig widerstandsfähig ist, und erst das Vulkanisieren hat ihn zu jenem für viele

Zwecke unentbehrlichen Hilfsmittel gemacht, als das wir ihn jetzt kennen. Das Vulkanisieren beeinträchtigt nämlich seine sonstigen Eigenschaften in keiner Weise, macht ihn aber ganz unempfindlich gegen Kälte bis zu 20° und Wärme bis über 100° hinaus. Es besteht in der Behandlung von Kautschuk mit Schwefel. Der Erfinder des Vulkanisierens, Lüdersdorf, empfahl Kautschuk mit Schwefel gemischt zu erhitzen. Die Methode ist viel variiert worden, und man pflegte eine Temperatur von etwa 130°—140° als die für den Prozeß geeignetste anzusehen. Sie findet aber kaum mehr Anwendung, seitdem Parkes unsere eben erwähnte Flüssigkeit, den Chlorschwefel, als Vulkanisierungsmittel eingeführt hat. Dessen Verfahren wird jetzt etwa in folgender Art ausgeführt: Die Gegenstände aus Kautschuk taucht man je nach ihrer Dicke mehreremal in eine Lösung von $2^1/_2$ Teilen Chlorschwefel in 100 Teilen Schwefelkohlenstoff. Dies starke Verdünnen ist durchaus nötig, da sonst der Kautschuk leidet, und das beste Verdünnungsmittel ist der Schwefelkohlenstoff. Bis zu 3 mm Stärke läßt man sie 2—3 Minuten in der Flüssigkeit, trocknet sie bei 25°, wobei die Leichtflüchtigkeit des Schwefelkohlenstoffs sehr zu statten kommt, und taucht sie nun nochmals 1—$1^1/_2$ Minuten in die Flüssigkeit, womit die Vulkanisierung beendigt ist.

Sind die Gegenstände über 3 mm stark, so nimmt man noch verdünntere Lösungen von Chlorschwefel und läßt sie längere Zeit in diesen, indem man so das Vulkanisieren bis in ihr Inneres erreicht, ohne daß die Oberfläche leidet.

Die Vorteile des Parkesschen Verfahrens sind sehr große. Erstens ist es weit billiger als die ältere Methode, weil es keine teuren Apparate und keine Temperaturerhöhung beansprucht, und zweitens fallen die nach ihm behandelten Gegenstände besser aus, gerade weil sie der hohen Temperatur von 130 und mehr Graden nicht ausgesetzt werden. Dazu kommt, daß der auf diesem Wege vulkanisierte Kautschuk, wie die Zeit erwiesen hat, länger elastisch bleibt, auch ist sein Aussehen ein besseres als das des direkt mit Schwefel behandelten Rohmaterials. Kurzum, diese zahlreichen Vorzüge lassen es verständlich erscheinen, daß der Chlorschwefel, trotz seiner an sich so unerfreulichen Eigenschaften, in dieser Industrie Eingang gefunden hat.

Fabrikation der Soda nach Leblanc.

Wir kehren nunmehr zur Sodafabrikation nach Leblancs Verfahren zurück.

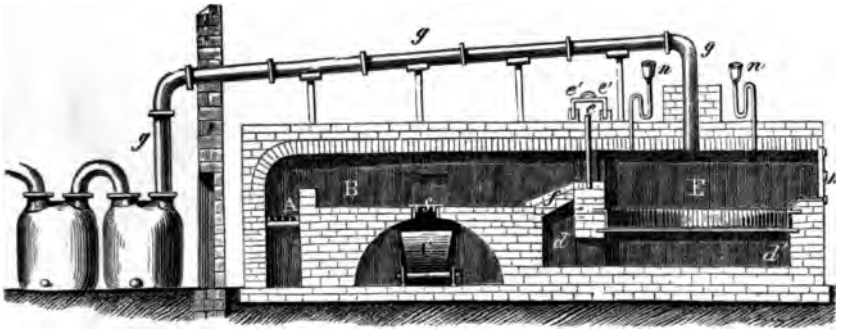
Diese bedient sich des Kochsalzes als Ausgangsmaterials und beginnt, wie wir bereits wissen (s. S. 362), mit der Überführung des Kochsalzes in schwefelsaures Natron. Gerade für diesen Zweck haben die Sodafabriken die Schwefelsäurefabrikation ausbilden müssen, indem man schwefelsaures Natron aus Kochsalz durch Einwirkung von Schwefelsäure erhält. Wir können das Kochsalz chemisch als salzsaures Natron auffassen, und so geht der Prozeß so vor sich, weil die Schwefelsäure eine stärkere Verwandtschaft zum Natron als die Salzsäure hat, daß sich im Flammofen, in welchem diese beiden Ingredienzien aufeinander wirken, schwefelsaures Natron und Salzsäure bilden.

Kochsalz	+	Schwefelsäure	=	Schwefelsaures Natron	+	Salzsaures Gas
$2\,NaCl$	+	H_2SO_4	=	Na_2SO_4	+	$2\,HCl$.

Die Salzsäure ist ebensogut ein Gas wie die Kohlensäure, aber im Gegensatz zu letzterer außerordentlich leicht in Wasser löslich, und diese ihre Lösung ist die Salzsäure des Handels. Die Einwirkung der Schwefelsäure auf das Kochsalz muß man durch starkes Erhitzen unterstützen, damit sie eine vollkommene wird, und hierzu dienten längere Zeit Flammöfen von etwa folgender Konstruktion.

Wir sehen, daß der Ofen zwei getrennte innere Räume hatte, der Raum B mit der Feuerung A stellt einen gewöhnlichen Flammofen vor; an denselben schloß sich eine zweite Abteilung E, welche mit beheizt werden muß, weshalb die Züge niederwärts bei d d' und unter der eisernen Zersetzungspfanne hinliefen, welche die Abteilung E bildete. In die Scheidewand, welche beide Abteilungen trennt, war ein Schieber eingesetzt, der nur für einen gewissen Moment des Betriebes geöffnet wurde. Die Abteilung B war im Innern mit einer Lage sehr hart gebrannter feuer- und säurefester Steine ausgekleidet. Die Öfen

waren in der Regel 4—5 m lang und $1^1/_2$—2 m weit. Der Gang der Arbeit in ihnen war der, daß das Salz durch die Eintragthür h in die Pfanne E gebracht wurde und hier die erste, sodann im Ofen B am offenen Feuer eine weitere Bearbeitung erhielt. War die Pfanne mit einer Ladung von mehreren Zentnern Salz beschickt und die Eintragthür dicht geschlossen, so ließ man von oben durch bleierne Trichter das nötige Quantum Schwefelsäure hinzulaufen. Die Zersetzung begann durch die Hitze von unten unterstützt sofort, und die reichlich auftretenden Dämpfe von salzsaurem Gas entwichen, da sie keinen anderen Ausweg fanden, durch die steingutene Röhrenleitung g und gelangten auf diesem Wege in eine Reihe oder Doppelreihe von ebenfalls steingutenen Verdichtungsballons, deren jeder zwischen 300—400 l Wasser faßte. Die Zahl dieser Ballons konnte 30, 40 und mehr betragen, und in ihnen löste sich das salzsaure Gas im Wasser auf. Anders gestalteten sich die Verhältnisse inzwischen in dem Ofenraum B. In der Pfanne E nämlich war die Masse anfangs flüssig, da etwa gleiche Gewichtsteile Salz und Säure eingetragen wurden. Allmählich wurde die Masse aber durch das Entweichen von Wasser- und Säuredämpfen dick, und dann war es Zeit, ihr eine verstärkte Hitze angedeihen zu lassen. Die seitlichen Arbeitsthüren und der Schieber der Mittelwand wurden geöffnet und die Salzmasse von E nach B hinübergekrückt. Hier erfuhr sie, während in E eine neue Beschickung in Arbeit genommen wurde, die unmittelbare Einwirkung des



384. Ofen zur Umwandlung des Kochsalzes in Glaubersalz.

Feuers, die Zersetzung vollendete sich, und es wurde noch eine ziemliche Menge Salzsäure ausgetrieben, bis endlich die Masse sich zusammenballte und zu einem harten festen Körper austrocknete. Diese ist jetzt das calcinierte Glaubersalz oder wasserfreie schwefelsaure Natron (Sulfat). Man öffnete eine Fallthür in der Herdsohle und krückte das Salz unmittelbar in einen untergeschobenen eisernen Karren, der es seinem weiteren Schicksal zuführte. Die Salzsäuredämpfe aber, welche aus dem Flammofen entwichen, gingen ebenfalls durch eine Reihe tiefer stehender, im Bilde nicht angedeuteter Verdichtungsgefäße; ihre Auflösung im Wasser erfolgte schwieriger, weil sie durch die begleitenden Verbrennungsgase behindert war. Schließlich ging alles gasförmige, was aus der oberen und unteren Verdichtungsreihe übrig geblieben war, in den hohen Schornstein, der durch kräftigen Zug die Dinge im Gange erhielt.

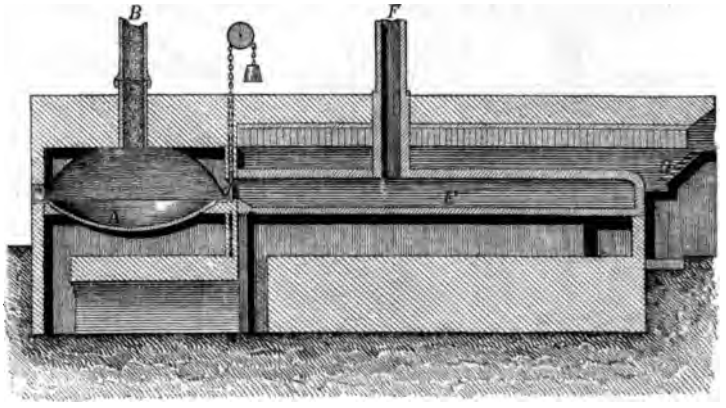
Die Schwierigkeit gerade der vollständigen Absorption des mit den Verbrennungsgasen gemischten Salzsäuregases hat allmählich zur Verdrängung dieser älteren Konstruktion geführt. An ihre Stelle ist eine Ofeneinrichtung getreten, bei der auch der zweite Teil der Zersetzung nicht im Flammofen direkt, sondern ebenfalls in einer aus säurefesten Steinen erbauten Muffel, also einem ringsumschlossenen Raum vorgenommen wird, aus der nun das salzsaure Gas für sich entweicht, während die Feuergase auch ihn von außen umspülen und erhitzen, so daß sie sich dem salzsauren Gas nicht beimischen.

A ist eine gußeiserne Schale, sogenannte Sulfatschale von etwa 2,75 m Durchmesser und 0,52 m Tiefe, über der ein aus säurefesten Steinen hergestelltes Gewölbe angebracht ist, von dem aus die Rohrleitung B das salzsaure Gas ableitet. Das Einfüllen des Kochsalzes und der Schwefelsäure erfolgt durch die Thür c. Ist die Einwirkung beider auf-

einander beendigt, so wird das Gemisch nach Hebung des Schiebers in die aus säure- und feuerfesten Steinen gebaute Muffel E gekrückt. Diese ist 9—10 m lang, etwa 3 m breit und hat ebenfalls eine Ableitung F für das sich bei der höheren Temperatur in ihr noch weiter entwickelnde salzsaure Gas.

Das Heizmaterial wird auf dem Treppenrost G verbrannt. Auf Treppenrosten kann man nämlich weit schlechteres, daher billigeres Heizmaterial als auf ebenen Rosten benutzen. Letztere würden durch die Rückstände des schlechten Brennmaterials sehr bald so verstopft, daß ein ordentliches Brennen nicht aufrecht zu erhalten ist, während hier von der Seite her stets genügende Luft zuströmt und das Fortstoßen der Schlacken viel leichter vor sich geht.

Von den großen Quantitäten Glaubersalz, die auf diese Art gewonnen werden, dient das bei weitem meiste nur als Durchgangsstadium für die Gewinnung der Soda. Ein weiterer recht bedeutender Teil wird von den Glasfabriken gekauft, da schwefelsaures Natron, Kieselsäure und Kohle beim Schmelzen kieselsaures Natron liefern (s. S. 198). In der Medizin spielt ein Gemisch von ihm mit Weinstein und kohlensaurem Natron eine Rolle unter dem Namen Seidlitzpulver, während es für sich allein als Abführmittel nur in der Tierarzneikunde Verwendung findet.



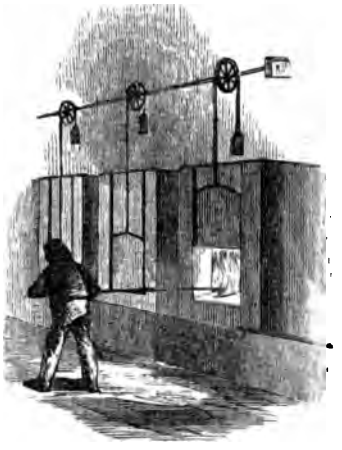
385. Muffelofen für die Glaubersalzfabrikation.

Die im Flammofen für die Sodafabrikation gewonnene Sulfat- oder Glaubersalzmasse wird nach dem Auskühlen sogleich in weitere Behandlung genommen. Man pulverisiert und mengt sie mit etwa dem gleichen Gewicht kohlensauren Kalkes in Form von Kalkstein oder Kreide und der Hälfte ihres Gewichts Steinkohlenklein innig zusammen, und bringt dies Gemisch in einen Flammofen, dessen Länge früher 6—7 m bei 2—3 m Breite betrug. Das Innere des Ofens war durch Fallthüren in seiner Decke zugänglich, durch welche die Masse eingestürzt wurde, und ebenso durch mehrere Seitenthüren, von wo aus die Arbeiter mit schweren eisernen Krücken die Masse bearbeiten und während der Schmelzarbeit fleißig durchrühren mußten. War ein solcher Ofen zu Anfang seines Betriebes einmal in Glut gesetzt, so folgten sich auch die Beschickungen Tag und Nacht so lange als möglich, d. h. bis der Ofen schadhaft wurde. Wieviel aber ein Ofen auf einmal verschlucken konnte und wieviel Zeit er zur Verdauung jeder Portion braucht, hing von seiner Größe sowie vom zugesetzten Material, ob Kreide oder Kalkstein, ab. Ein Ofen von den bezeichneten Dimensionen gehörte zu den größeren und konnte 750—1200 kg auf einmal fassen, die etwa eine vierstündige Bearbeitung erforderten. Die Beschickungsmasse ward zunächst in der hinteren Partie des Ofens, die vom Feuer am weitesten entfernt ist, eingeschüttet und hier angewärmt, während eine frühere Partie im vorderen Raume ihre Bearbeitung erfuhr; war dieser Ort geräumt, so wurde jene Masse vorgezogen und hinten neues Material aufgeschüttet. Die Wirkung des Feuers auf die Masse war zunächst die, daß die letztere oberflächlich in Fluß geriet; war dies der Fall, so wurde

mit Schaufeln gewendet, dann der Ofen geschlossen und die Hitze höher getrieben, bis das Ganze zu einer teigartigen Masse zusammenschmolz und Blasen zu werfen begann, welche beim Zerplatzen mit blauen Flämmchen verbrannten; das Verbrennende ist Kohlenoxydgas. Die Temperatur, bei welcher die Umsetzung in der Sodaschmelze stattfindet, beträgt etwa 1000° C., also Silberschmelzhitze. Gleichzeitig begann das Rühren und Durcharbeiten seitens der Arbeiter, um die chemischen Vorgänge zu befördern. Allmählich werden die blauen Lichter, die anfänglich in großer Menge und Lebhaftigkeit erscheinen, seltener und schwächer, und man schließt den Prozeß ab, noch ehe sie ganz verschwinden, weil dies von Vorteil für die Ausbeute ist. Die immer noch teigige rotglühende Masse wird aus dem Ofen in untergesetzte eiserne Kästen gekrückt, wo sie bald zu dem schwarzen steinigen Körper erhärtet, der die Schmelze heißt.

386. Sulfatschale.

Zuerst in England sind dann, um das Rühren entbehrlich zu machen, neue Sodaöfen, die rotierenden Cylinderöfen, in Anwendung gekommen, die sich gut bewährt haben, so daß dort keine Handöfen mehr betrieben werden. In der Anlage sind diese Öfen allerdings viel kostspieliger, sie kosten etwa 40000 Mark, sie bieten indessen große Vorteile: man braucht etwa 25 % weniger Feuerung als bei einer entsprechenden Anzahl Handöfen, das Produkt ist entschieden besser (hochgrädiger) als das aus den alten Öfen, und endlich wird der Fabrikant von den immer höher steigenden Ansprüchen der Sodaschmelzer und ihrer Geschicklichkeit emanzipiert, indem die Bearbeitung der schmelzenden Masse mit den Krücken wegfällt. Während in einem Handofen in England pro Tag 24 bis 27 Chargen zu je 3 Zentner Sulfat verarbeitet werden konnten, verschluckt ein Cylinderofen kleinster Art 300 Zentner Sulfat täglich. Diese Öfen eignen sich daher nur für sehr große Fabrikanlagen. In England sind aber schon vor Jahren in einer Fabrik zehn solcher Öfen in Betrieb gewesen, welche 800000 Zentner calcinierte Soda pro Jahr produzierten, während die gesamte deutsche Sodaproduktion sich im Jahre 1872 nur auf 724539 Zentner calcinierte und 128776 Zentner krystallisierte Soda belief.



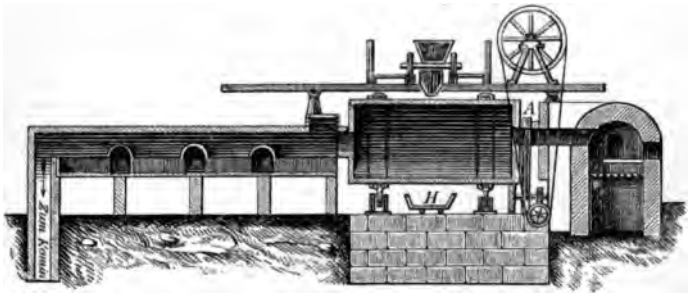
387. Alter Sodaofen.

Jeder einzelne Cylinderofen erfordert eine Dampfmaschine, selbst wo mehrere derselben vorhanden sind, weil man die Umdrehungsgeschwindigkeit und Manipulation des Cylinders beim Füllen und Entleeren nur auf diese Weise völlig beherrschen kann. Eine Eisenbahn läuft über alle Öfen in solcher Höhe hin, daß ein Einfüllungstrichter, in welchen man den Inhalt der Wagen stürzt, noch immer hoch genug über den Cylindern bleibt, um ihre Rotation nicht zu hindern. Eine kleinere Eisenbahn ist quer unter den Ofen gelegt, auf welcher die die fertige Schmelze aufnehmenden Wagen laufen. Man füllt immer erst die Kreide oder den Kalkstein mit $^2/_3$ der Kohle in großen Stücken ein; die hohe Temperatur, der die Blöcke plötzlich ausgesetzt werden, bringt in wenigen Minuten die immer in ihnen enthaltene Feuchtigkeit zum explosionsartigen Verdampfen und zerteilt den Kalkstein in viel billigerer Weise, als es durch Mahlen geschehen würde, und man läßt nun den Kalkstein mit der Kohle so lange rotieren, bis sich ein Teil desselben in Ätzkalk verwandelt hat. Die genaue Beobachtung des Zeitpunktes, in welchem man mit dieser Operation aufhören soll, ist die Hauptaufgabe für den Arbeiter, der vor einem Schauloche in der hinteren Stirnwand des Cylinders sitzt und den Hebel der Dampfmaschine vor sich hat; in der Regel dauert diese vorbereitende Arbeit eine Stunde. Erst dann wird das Sulfat mit dem Rest der Kohle zugesetzt und die eigentliche Schmelzung

vollführt. Die ganze Operation erfordert ungefähr $2^1/_2$ Stunden. Durch die Bildung von Ätzkalk bezweckt man eine Auflockerung der Schmelzkuchen beim Auslaugen, indem sich der Kalk im Wasser hernach löscht. Die Umdrehung des Ofens ist anfangs nur eine langsame, etwa einmal in 20 Minuten, steigert sich aber dann auf 5—6 Umdrehungen in der Minute.

Schon ein rotierender Sodaofen in der abgebildeten Form erscheint recht kompliziert, doch hat man, um an Kohlen zu sparen, nachdem man sie allmählich ganz sicher zu handhaben verstand, sie noch mit Gasfeuerung versehen und hinter den rotierenden Cylinder eine Kammer eingebaut, die zum Absetzen mitgerissener fester Stoffe dient. Zugleich dient die Wärme dieser Kammer dazu, um die Verbrennungsluft anzuwärmen, damit diese Wärme in dieser Form wenigstens teilweise wieder in den Ofen zurückwandert. Die gefährdetste Stelle des ganzen Systems liegt natürlich da, wo die Mündung der Feuerung der Mündung des Cylinders gegenüber liegt. Hier ist deshalb, damit diese nicht direkt aneinander stoßen, ein besonderes Rohrstück A, welches das Auge heißt, eingeschoben, das daselbst meist frei an Ketten hängt. Hat es durch Verbrennen gar zu sehr gelitten, so ist es in wenigen Minuten erneuert, ohne daß der Betrieb erwähnenswert gestört wird.

Die aus dem Cylinder, bezw. der hinter ihm liegenden Flugstaubkammer weiter nach dem Kamin abziehende Hitze dient in der in der Abbildung angegebenen Weise zum Eindampfen von Laugen, über welche sie, wie in einem Flammofen, dahinstreicht.



388. Rotierender Cylinderofen für die Sodafabrikation.

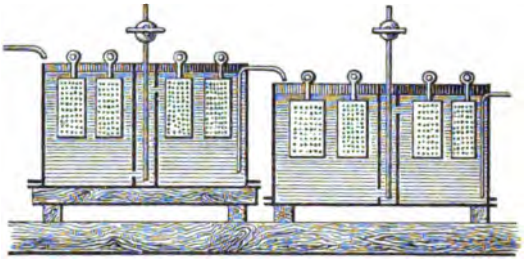
Die mit Gasfeuerung ausgestatteten Cylinderöfen leisten wiederum mehr als die älteren Konstruktionen. Sie können täglich zwölf Chargen machen und stellen in dieser Zeit 25000 kg Soda her.

Chemische Vorgänge. Fragen wir nun, welche Veränderungen die Hitze in dem Gemisch von Glaubersalz, Kalk und Kohle zuwege bringt, so sind die Vorgänge sehr verwickelt. Jedenfalls finden die Umsetzungen der Hauptsache nach folgendermaßen statt. Die Kohle reduziert in der Glühhitze das Glaubersalz zu Schwefelnatrium. Dieses tritt sofort in Wechselwirkung mit dem Kalkstein. Er muß seinen Gehalt an Kohlensäure dem Natrium abtreten, das hierdurch in kohlensaures Natrium übergeht, während gleichzeitig das Calcium des Kalksteins sich mit dem frei werdenden Schwefel des Schwefelnatriums verbindet, so daß Schwefelcalcium sich bildet. Da das Einfachschwefelcalcium nicht so unlöslich im Wasser ist, daß man durch nachheriges Auslaugen der Schmelze eine reine Sodalösung erhalten könnte, nimmt man von vornherein etwas mehr Kalk, als nach der Berechnung notwendig wäre, und bewirkt dadurch das Entstehen einer Doppelverbindung von Schwefelcalcium mit gebranntem Kalk (Calciumoxysulfid), welche im Wasser unlöslich ist.

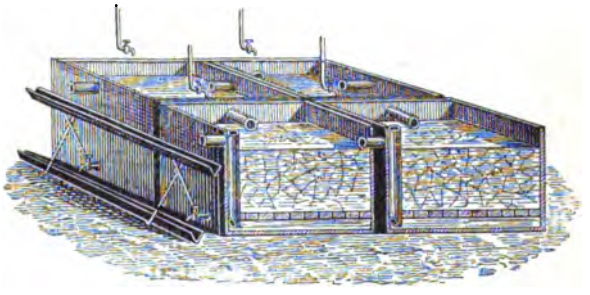
Die erkaltete Schmelze bildet eine kompakte Masse, die für die fernere Bearbeitung zerschlagen werden muß. Sie ist durch ihren Gehalt an unverbrannt gebliebener Kohle schwarz oder grau und enthält, je nach dem Reinheitszustande der Rohstoffe, nach dem Mischungsverhältnis und der Dauer der Schmelzarbeit, sehr verschiedene Dinge in verschiedenen Mengen, denn die Behandlung im Ofen kann sowohl unzulänglich sein als über das Ziel hinausgetrieben werden. Der Sodagehalt beträgt gewöhnlich 30—45% des Ganzen, das Calciumoxysulfid etwa ebensoviel; daneben kommen in kleineren Mengen Koch- und Glaubersalz, Ätzkalk, Schwefeleisen und andere Substanzen vor.

Durch Auslaugen der Rohmasse in warmem Wasser, um aus ihr auf diesem Wege die Soda zu gewinnen, werden die löslichen und brauchbaren Teile von den unlöslichen

Verunreinigungen getrennt. Es soll möglichst erschöpfend und doch mit möglichst wenig Wasser erfolgen, weshalb man die Lauge mehrere Filtrierkästen der Reihe nach passieren läßt, so daß sie aus jedem etwas aufnimmt und schließlich vom letzten so konzentriert abläuft, daß sie zum Abdampfen reif ist. Ehemals diente dazu folgende Einrichtung: Auf einer stufenförmigen Unterlage (s. Abb. 389) steht eine Reihe großer eiserner Behälter, die mit warmem Wasser beschickt und durch Dampfrohre warm erhalten werden. Heberartige Verbindungsrohre leiten die Flüssigkeit abwärts aus einem Kasten in den anderen; sie sind so eingerichtet, daß sie die Lauge, die sie an der Oberfläche des einen Kastens entleeren, in der Nähe des Bodens vom nächsten, höher stehenden entnehmen müssen. Kleinere Blechkästen, die siebartig durchlöchert sind und die gepulverte Schmelzmasse enthalten, sind der Reihe nach an Traghölzern in die Behälter eingehängt und reichen etwa bis auf deren halbe Tiefe hinunter. Denken wir uns nun die Auslaugung im Gange — und sie wurde wenigstens acht Tage lang unausgesetzt erhalten — so werden wir in allen Behältern Lauge finden, und zwar im obersten die schwächste, weil frisches Wasser nur hier zugeleitet wird. Von hier aus geht die Flüssigkeit allmählich durch alle Behälter, kommt mit sämtlichen darin hängenden Sieben in Berührung und fließt aus dem letzten als gesättigte Lösung ab. Die Siebe machen ihrerseits ebenfalls einen Weg, aber dem der Lauge entgegengesetzt. Nach je 4—5 Stunden werden sie nämlich umgehängt, so daß jedes um einen Kasten weiter rückt. Damit wird unten, in der stärksten Lauge, ein Platz leer, und hierher kommt ein Sieb mit neuer Beschickung, aus welchem die schon ziemlich gesättigte Flüssigkeit immerhin noch etwas aufzunehmen vermag. Dagegen wird das zu oberst überflüssig gewordene Sieb entfernt, und sein Inhalt erweist sich, wenn die Anzahl der Bottiche genügend groß ist, jetzt als völlig ausgelaugt.



389. Ältere Auslaugevorrichtung.



390. Neuere methodische Auslaugevorrichtung.

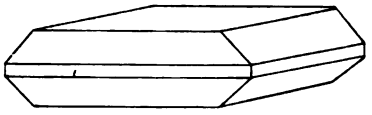
Wenn auch auf diesem Wege ein völliges Auslaugen der Sodaschmelze zu erzielen ist, so ist es doch mit dem Übelstande behaftet, daß die auszulaugenden Schmelzmassen fortwährend transportiert werden müssen, und das ist ein Fehler, der bei den hohen Arbeitslöhnen der Gegenwart und den niedrigen Preisen des fertigen Produktes zum Verlassen dieser Methode geführt hat.

Man bedient sich jetzt zum Auslaugen der Einrichtung, wie sie von Shanks, nach anderen von Buff zuerst angegeben worden ist. Eine Reihe von vier oder auch mehr Kästen ist mit einem falschen Boden versehen. Sie sind etwa 2,6 m lang und breit und 2 m tief. Die Rohsoda wird in sie in ziemlich großen Stücken hineingeworfen und mit Wasser übergossen. Alle Behälter stehen durch Rohrleitungen so miteinander in Verbindung, daß bei weiterem Zufluß von Wasser der flüssige Inhalt des betreffenden Kastens in den nächsten gedrückt wird. So bewirkt jedes erneute Übergießen mit Wasser ein nochmaliges Auslaugen und Fortdrücken der bereits entstandenen Lauge auf weniger ausgelaugtes Material. Da nämlich alle Kästen gleichmäßig miteinander verbunden sind, kann jeder durch Hahnumstellung der erste und auch der letzte werden, so daß die Rohsoda in dem Kasten, in welchem sie liegt, ohne allen Transport bis zur völligen Er-

schöpfung ausgelaugt werden kann, worauf der erschöpfte Rückstand entfernt wird und an seine Stelle neue Schmelze tritt.

Die vom Auslaugeapparat kommende gesättigte Lauge wird nunmehr *eingedampft*. Nach älterer Art versiedete man sie genau so, wie in Salzwerken die Sole, in eisernen Pfannen, die von unten geheizt werden; gegenwärtig bedient man sich nur noch der Verdampfung durch Oberfeuer. Die Laugenpfannen stehen in einem Flammofen, der mit Koks gespeist wird, da diese die reinlichste Flamme geben, indem sie keinen Ruß erzeugen. Flamme und Feuergase sind durch den gedrückten Bau des Ofens genötigt, dicht über die Oberfläche der Lauge hinzustreichen, was ein sehr lebhaftes Sieden und Verdampfen bewirkt. Die Soda scheidet sich alsbald in Krystallen ab, die sich ruhig zu Boden setzen, und die man zeitweilig mittels einer Krücke herausschafft. Zugleich läßt man neue Rohlauge zufließen, so daß dieser Betrieb oft wochenlang kontinuierlich fortgeführt wird. Das Aussoggen findet gewöhnlich innerhalb 24 Stunden viermal statt, und man kann mit dem Abdampfen fortfahren, bis die Menge der verunreinigenden Salze in der Mutterlauge so groß wird, daß die Sodakrystalle nicht mehr genügend rein aussoggen. Die aus den Abdampfpfannen gezogene Soda läßt man so weit als möglich abtropfen, trocknet sie sodann in einem Flammofen völlig aus, worauf sie als calcinierte Soda in den Handel kommt.

Es wird aber auch nicht wenig *krystallisierte* Soda verbraucht. Diese wird so dargestellt, daß man das calcinierte Salz in möglichst wenig heißem Wasser auflöst, die Lauge durch Stehenlassen klärt und dann vom Bodensatz abzieht und in einem sauberen Bottich die Soda herauskrystallisieren läßt. Die Krystallisierbottiche werden vollauf gefüllt, so daß, wenn man eiserne Stäbe querüber legt, diese mit der Flüssigkeit in Berührung sind. Die Stäbe geben, abgesehen von den Wänden, einen Anhaltepunkt für sich bildende Krystalle, die öfters bis zu $^1/_3$ m lang werden. Dies ist nun jene Soda, welche im täglichen Leben seitens des Publikums benutzt wird. Die Hausfrauen und Wäscherinnen kaufen ganz allgemein nur dieses und nicht das calcinierte Salz, weil ersteres allein im Kleinhandel geführt wird. Das krystallisierte Salz enthält, trotzdem es in harten, trockenen Krystallen erscheint, weit über die Hälfte (63 %) Wasser als Krystallwasser. Daher verlieren beim Liegen an der Luft die anfangs klaren Sodakrystalle ihre Durchsichtigkeit, indem ein Teil ihres Krystallwassers verdunstet, weil ihnen ihre Krystallform und damit ihre Durchsichtigkeit nur mit dem Wasser zusammen eigentümlich ist.



391. Sodakrystall.

Die weiteren Nebenindustrien der Sodafabrikation.

Wir kommen nunmehr zu sonstigen mit der Sodaherstellung verbundenen Nebenfabrikationen. Die Schwefelsäurefabrikation, welche doch in den Sodafabriken mit ausgebildet worden ist, haben wir bereits kennen gelernt, und wollen noch die wichtigsten weiteren hier jetzt anreihen.

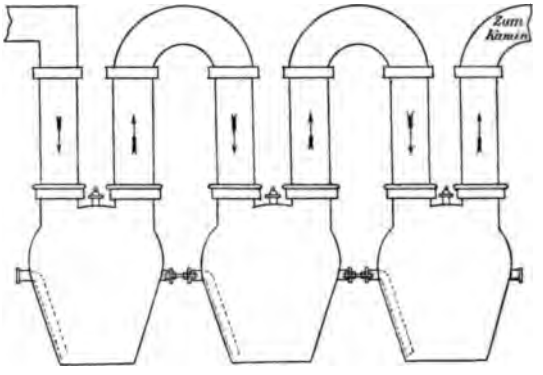
Die Salzsäure.

Die Überführung des Kochsalzes in schwefelsaures Natron macht, wie wir sahen, keine großen Schwierigkeiten. Aber neben diesem entsteht doch durch die Einwirkung der Schwefelsäure auf das Kochsalz das *salzsaure Gas*, und es war ursprünglich so lästig, daß fast die Sodafabrikation nach Leblanc an diesem Nebenumstande hätte scheitern können. Das salzsaure Gas besteht aus Wasserstoff und Chlor, löst sich, wie erwähnt, sehr reichlich im Wasser, und seine Lösung, die über 30 % von ihm enthält, ist die Salzsäure des Handels.

Ursprünglich kannte man gar keine Verwendung für das Gas oder für seine Lösung und ließ es deshalb mit den Verbrennungsgasen des Sulfatofens aus dem Kamin entweichen. Wohl war es so aus der Fabrik entfernt, aber jetzt begannen die Klagen der Nachbarn. Salzsäure zerstört nämlich den Pflanzenwuchs, zerfrißt die Metalle u. s. w., kurzum ihre Anwesenheit in der Luft macht sich auf das unangenehmste geltend. So mußten die Fabriken aus manchen Städten wieder entfernt werden, wie z. B. aus Brüssel,

weil kein Handwerker in dem betreffenden Stadtteil seine Instrumente mehr scharf halten konnte. Man gab sich deshalb die erdenklichste Mühe, es los zu werden, und eine Fabrik errichtete einen 150 m hohen Kamin, der also an Höhe nur von wenigen Kirchtürmen erreicht wird, in der Hoffnung, daß das salzsaure Gas sich dort oben genügend in der Luft verteilen würde. Nun zieht aber salzsaures Gas stark Wasser an, indem es sich in ihm löst. So verdichtete es sich denn dort oben mit der Feuchtigkeit der Luft zu Nebeln, und daher kam es, daß das Gas aus dieser bedeutenden Höhe namentlich bei feuchtem Wetter in Form von sauren Wolken herunterfiel.

Man wußte natürlich schon damals, daß sich Salzsäure in Wasser leicht löst, aber was sollte man mit dieser wässerigen Lösung anfangen. Verwendung für sie hatte man nicht und in die Flüsse laufen lassen konnte man sie auch nicht, weil sie das Wasser ungenießbar machte und die Fische tötete. Man sieht, zu Anfang des Jahrhunderts war sie eine furchtbare Plage für die Sodafabrikation. Aber nun kommt das Merkwürdigste, die Zeiten haben sich so völlig geändert, daß die ganze Existenz der Leblancsodaindustrie seit den achtziger Jahren nur noch auf Nebengewinnung der Salzsäure beruht. Ein stärkerer Umschlag in Bezug auf ein ursprünglich wertloses Nebenprodukt ist wohl nicht denkbar, und der Grund hierfür ist, daß Salzsäure, die doch aus Chlor und Wasserstoff besteht, im Laufe der Zeit das Ausgangsmaterial für die zahlreichen chlorhaltigen Produkte wie Chlorkalk u. s. w., die man heutzutage braucht, geworden ist.



392. Tourill-Batterie zum Auffangen der Salzsäure nach Rohrmann.

Das Auffangen des salzsauren Gases erfolgt jetzt stets so, daß man es von Wasser absorbieren läßt, und hierfür gibt es zwei verschiedene Methoden, die in ihrer Vereinigung das Vollkommenste vorstellen, was man erwarten kann, die nämlich zusammen keine Spur von salzsaurem Gas unabsorbiert entweichen lassen. Auf dem Festlande hat sich das System der Tourills herausgebildet, das wir schon beim Sulfatofen erwähnten. Wir geben hier die Abbildung eines Mittelteiles einer Tourill-Batterie, wie sie Rohrmann in Krauschwitz bei Muskau herstellt, wieder. Die einzelnen Tourills sind untereinander in der in der Abbildung angegebenen Weise verbunden, so daß sie von Wasser durchströmt werden können. Das Wasser steht in ihnen in der Höhe der Überläufe, da wo die Tourills den weitesten Umfang haben, es also eine möglichst große Fläche bietet. Das aus dem Sulfatofen kommende salzsaure Gas geht durch die Tourills hindurch, indem durch den Anschluß des letzten von ihnen an den Kamin des Ofens für Zug gesorgt ist. Es wird auf dem Wege nach dem Kamin vom Wasser absorbiert, und indem man den Zufluß von diesem im Verhältnis zur Anzahl der Tourills passend einstellt, läuft aus der Batterie ununterbrochen mit salzsaurem Gas gesättigte flüssige Salzsäure ab. Für einen Sulfatofen, der in 24 Stunden 2250 kg Kochsalz zersetzt, sind etwa 60 Tourills erforderlich. Da das mit Salzsäure sich sättigende Wasser spezifisch schwerer wird, sinkt es im Tourill zu Boden und wird deshalb mittels des passend angebrachten Rohres vom Boden aus in den nächsten Tourill gedrückt. In England hat man von jeher die Salzsäure in etwas anderer Weise zu absorbieren gesucht. Dort hat schon im Jahre 1836 Gossage Koksstürme für diesen Zweck vorgeschlagen, von denen man zur Sicherheit meist zwei hintereinander schaltet. Ihre Höhe beträgt etwa 13 m, und der Querschnitt des ersten etwa 2 qm, während der zweite nur noch 1,2 qm weit ist, da im ersten bereits das über die Koks herabrieselnde Wasser fast alles salzsaure Gas absorbiert hat.

Die Vereinigung beider Systeme und der teilweise Ersatz der Koks durch mit zahlreichen Löchern versehene Thonplatten führte dann schließlich zum Lunge-Rohrmann-

schen System der kompletten Salzsäure-Kondensationsanlage mittels des Plattenturms, welches wohl die vollkommenste ist, die zur Zeit existiert, und die wir hier mit Genehmigung der Erfinder in der Abbildung wiedergeben können. Wie aus dem Grundriß ersichtlich ist, werden zwei Kondensationsanlagen H und K nebeneinander aufgestellt, deren eine die Pfannengase, die andere die Muffelgase des Sulfatofens kondensiert.

Das den Sulfatofen verlassende salzsaure Gas wird im Turm B gekühlt, in dem sich unten 60 Platten befinden, während die drei oberen Abschnitte mit Koks gefüllt sind. Von B gelangt das Gas nach dem in gleicher Art gefüllten Turm A, in welchem es durch ein wenig Wasser gewaschen wird. Hierauf passiert es die Kühlleitung D, die nicht wie üblich vertikal auf- und niedersteigt, sondern nur im Winkel von 65° gebogen ist, wodurch die Gerüste zugleich als Steigleitern für die Bedienung dienen können. Nunmehr zieht das Gas, das bis auf 50—60°C. abgekühlt ist, durch sechs Tourills in den eigentlichen Plattenturm, wo von oben herniederrieselndes Wasser es völlig absorbiert. Die sich am Fuße des Turmes sammelnde wässerige Salzsäure passiert dann ihrerseits noch die sechs Tourills, um sicher vollständig mit salzsaurem Gas gesättigt zu sein, und läuft bei C als fertige Handelssäure ab. Die abgebildete Anlage reicht für einen Sulfatofen, der 5000 kg Steinsalz in 24 Stunden verarbeitet, aus und liefert eine Ausbeute von 183 Teilen wässeriger Salzsäure aus 100 Teilen Kochsalz.

Die Anwendung der wässerigen Salzsäure ist ganz im Gegensatz zum Anfang des Jahrhunderts jetzt eine außerordentlich mannigfaltige. Sie dient im Gemisch mit Salpetersäure unter dem Namen Königswasser als Lösungsmittel für Gold und Platin. Das Königswasser hat von den Alchemisten seinen Namen deshalb erhalten, weil es das Gold, den König der Metalle, zu lösen im stande ist, was keine einzelne Säure, sondern nur diese Mischung vermag. Der Grund hierfür ist der, daß die sehr sauerstoffreiche Salpetersäure sich des Wasserstoffs der Salzsäure bemächtigt, indem sich Wasser bildet, wodurch in der Mischung Chlor frei wird, welches das Gold löst, das also in der Flüssigkeit als Goldchlorid vorhanden ist. Das Genauere über das Königswasser wollen wir im Anschluß an die Salpetersäure erörtern.

Nun kann man sich weiter denken, daß, wenn Salzsäure, die doch aus Chlorgas und Wasserstoffgas besteht, bei Sauerstoffzufuhr, wie wir eben erfuhren, ihren Wasserstoff in Verbindung mit diesem leicht als Wasser abgibt und freies Chlor liefert, es dann eine sehr große Anzahl von Methoden geben wird, um aus ihr das Chlorgas als solches zu gewinnen.

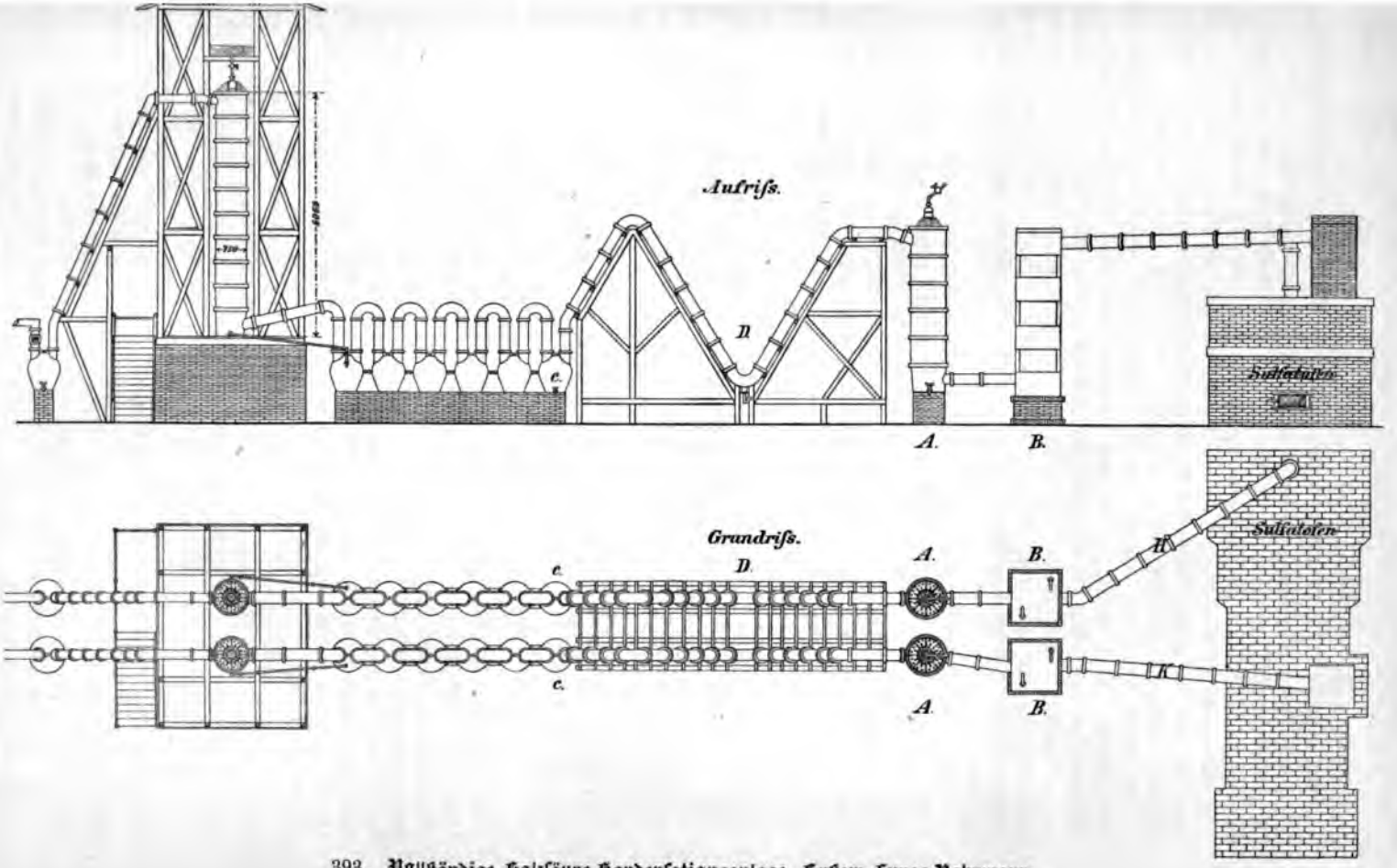
Salzsäure + Sauerstoffgas = Wasser + Chlorgas
$2\,HCl + O = H_2O + 2\,Cl.$

Sauerstoffabgebende Mittel sind nämlich außer der schon erwähnten Salpetersäure sehr viele bekannt, ja schließlich läßt sich sogar der Sauerstoff der Luft für diesen Zweck verwerten, wie wir sehen werden. Denn in der Wirklichkeit gestaltet sich die Sache so, daß der größte Teil aller in den Sodafabriken gewonnenen Salzsäure in Chlor verwandelt wird und als Chlorkalk u. s. w. in den Handel kommt. Außer dem einen technisch wenig wichtigen erwähnten Zwecke, außer dem Königswasser, dient die Salzsäure zur Herstellung der verschiedenartigsten Salze wie des salzsauren Ammoniaks oder Chlorammoniums, das im gewöhnlichen Leben Salmiak heißt. Ebenso liefert in ihr gelöstes Zink das Chlorzink, dessen Lösung zum Imprägnieren der Eisenbahnschwellen dient u. s. w.

Zink + Salzsäure = Chlorzink + Wasserstoff
$Zn + 2\,HCl = ZnCl_2 + H_2.$

Auch wird mit ihrer Hilfe der Knochenleim gewonnen.

Leim erhält man bekanntlich durch Kochen der leimgebenden Gewebe des tierischen Körpers, dahin gehören die Haut, die Knorpel, die Sehnen, die Fischblase und ähnliches. Erhitzt man diese mit Wasser, so tritt eine völlige Umwandlung mit ihnen ein, indem sie sich allmählich auflösen. Diese Auflösung hat dann die Eigenschaft, wenn sie nicht gar zu verdünnt ist, nach dem Erkalten zu gelatinieren, d. h. eine halbfeste leichtbewegliche, bei leisestem Anstoß zitternde Masse zu geben. Wird diese getrocknet, so bezeichnet man das



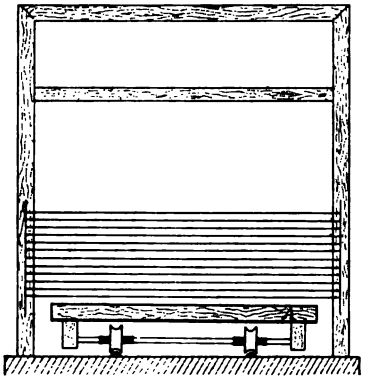
393. **Vollſtändige Salzſäure-Kondenſationsanlage, Syſtem Lunge-Rohrmann.**

Produkt, je nach der Qualität als Gelatine oder als Leim, und entsprechend dem Ausgangsmaterial spricht man von Hautleim, Knochenleim und Fischleim.

Während sich Knorpel noch verhältnismäßig leicht zerkochen lassen, ist das Herausziehen des Leimes aus Knochen, die auch viel leimgebendes Gewebe enthalten, schon schwieriger durch Kochen zu erreichen. Allerdings Papin spricht schon von dieser Art Leim, und Hérissaut schlug bereits 1758 das jetzt übliche Verfahren der Knochenleimgewinnung vor. Nach ihm sollte man die mineralischen Bestandteile der Knochen in Säuren lösen, was leicht ausführbar ist, und das dann übrigbleibende leimgebende Gewebe, die Knorpelsubstanz mit Wasser zu Leim kochen.

Das Verfahren kam damals nicht zur Ausführung, einmal weil die Säuren zu teuer für den Zweck waren, er hat wahrscheinlich an Essig (Essigsäure) gedacht — zu der Zeit steckte ja selbst die Schwefelsäurefabrikation noch ganz in den Kinderschuhen, wie wir wissen — und zweitens weil der saure Knochenauszug als wertlos weggegossen werden mußte, da man keine Verwendung für ihn kannte. Das hat sich nun alles völlig geändert, und heute wird mit Hilfe der billigen Salzsäure massenhaft Knochenleim fabriziert.

Die in kleine Stücke zerschlagenen Knochen legt man in verdünnte Salzsäure, welche etwa achtprozentig ist, d. h. 8 % salzsaures Gas enthält. Nach 2—3 Tagen haben sich die mineralischen Bestandteile, sie sind der Hauptsache nach phosphorsaurer Kalk, gelöst, und es hinterbleiben die erweichten Knochenknorpel. Diese werden durch häufig wiederholtes Übergießen mit Wasser, dem man schließlich etwas Soda zusetzt, völlig entsäuert. Durch diese Zugabe werden die letzten Spuren Säure in Chlornatrium, Kochsalz, verwandelt, und wenn auch dessen Auswaschen nicht vollständig ausgeführt wird, so hat das nicht viel zu bedeuten, während Spuren Säure bei dem nun folgenden Kochen des Knorpels sich hinsichtlich der Qualität des Leimes sehr störend geltend machen.



394. Leimschneideapparat.

Ist die durch das Kochen der Knochenknorpel erhaltene Lösung konzentriert genug, so wird sie ganz wie jede aus anderem Material dargestellte Leimlösung weiter verarbeitet. Man läßt sie nämlich in stark angefeuchtete hölzerne Tröge fließen, die etwa 1 m lang, 30 cm breit und 10 cm hoch sind, zieht aber in neueren Fabriken Formen aus verzinktem Eisenblech vor. Die über Nacht gallertartig erstarrte Masse wird sodann herausgenommen und mit Hilfe des beistehenden Apparates in Platten zerlegt. In einem Rahmen sind eine Anzahl Messingdrähte in gleichmäßiger Entfernung voneinander aufgespannt. Unter ihnen läuft ein auf Schienen verschiebbarer Schlitten, mit Hilfe dessen man die Gallerte durch den Rahmen schiebt. Hierbei zerteilen sie die Messingdrähte in Platten von bestimmter Stärke, die nach dem Trocknen den Handelsleim bilden.

Der salzsaure Auszug der Knochen enthält also den phosphorsauren Kalk. Stumpft man in der Lösung die Salzsäure durch ein Alkali ab, und man nimmt natürlich das billigste von ihnen, das ist doch gebrannter Kalk, so bildet die Salzsäure mit diesem Chlorcalcium. Es fehlt somit jetzt das den phosphorsauren Kalk lösende Mittel, und so fällt er in Form eines feinen Pulvers aus der Flüssigkeit wieder aus. Dieser präzipitierte phosphorsaure Kalk ist ein von den Landwirten gern gekauftes Düngemittel, und so finden die beiden Hauptbestandteile der Knochen ihre technische Verwertung. Auf die Gewinnung und Verwertung des dritten Bestandteils, nämlich des Knochenfetts, kommen wir bei der Fabrikation der Seife zurück.

Den bisher genannten Verwendungen der Salzsäure schließen sich noch zahlreiche weitere an, die aufzuzählen ganz unmöglich ist, die aber alle vergleichsweise wenig gebrauchen im Verhältnis zu dem, was an Chlorpräparaten aus ihr dargestellt wird.

Das Chlor.

Das Chlor ist ein Gas, welches aus der Salzsäure, wie erwähnt, durch Einwirkung der verschiedenartigsten Oxydationsmittel auf sie zu erhalten ist. Sein Entdecker ist der schwedische Chemiker Scheele (s. S. 302). Er erhielt es im Jahre 1774, indem er ein in der Natur massenhaft vorkommendes Mineral, den Braunstein, mit Salzsäure erhitzte, und es ist gewiß merkwürdig, daß diese von ihm zufällig als erste aufgefundene Methode zur Darstellung des Chlorgases die bis heute am meisten angewandte ist, sowohl im Laboratorium wie in der Technik, obgleich es ungezählte Patente und Vorschläge gibt, die den Ersatz des Braunsteins durch etwas anderes anstreben.

Die Eigenschaften des Chlorgases sind keine gerade angenehmen. Otto beschreibt sie in seinem großen Lehrbuche folgendermaßen. Das Chlorgas ist grünlich gelb. Es riecht eigentümlich, sein Geruch darf aber nur, wenn sich das Gas in der Luft verbreitet, versucht werden, er stumpft die Geruchsorgane völlig ab. Es läßt sich, selbst stark mit Luft vermischt, nicht einatmen, erregt heftigen Reiz in der Luftröhre, Husten, Brustbeklemmung, Blutspeien. Man kann nicht vorsichtig genug beim Arbeiten mit dem Gase sein, und wer kranke Lungen hat, bleibe davon. Schnupfen und fieberhafter Zustand sind die gewöhnlichen Folgen des Experimentierens mit ihm. Auch zerfrißt feuchtes Chlor die meisten Metallapparate. Das waren die Anschauungen eines erfahrenen Chemikers über dieses Gas in den sechziger Jahren, und seit dem Jahre 1890 kauft man es ganz nach der Art der Kohlensäure in verflüssigtem Zustande in metallenen Bomben, in denen man es nach Kilogrammen bezahlt. Hier haben wir so recht ein Beispiel der neueren Leistungen der chemischen Industrie. Selbst vor dem Hantieren mit einem so gefährlichen Gase schreckt sie nicht zurück, ja sie preßt es mit Druckpumpen derartig zusammen, daß sie es verflüssigt in den Handel bringt, und dabei geht die Sicherheit der Handhabung so weit, daß kein hierdurch herbeigeführter Unglücksfall bekannt geworden ist, obgleich diese Fabrikation nun doch bereits eine Reihe von Jahren ausgeübt wird.

Schon Scheele beobachtete die bleichende Wirkung des Chlorgases auf viele Farbstoffe, und Berthollet schlug bereits ein Jahr später vor, diese praktisch zu verwerten. Mit dem Gas selbst verstand man aber gar nicht umzugehen, und so benutzte man als Bleichwasser seine Lösung in diesem. Doch löst Wasser nur etwa 3 Volumina von ihm, also für praktische Zwecke sehr wenig. Geruch und sonstige Eigenschaften der wässrigen Lösung sind kaum weniger unangenehm als die des Chlorgases selbst, und deshalb warf man sich denn aufs Erfinden von Bleichwässern von größerem Gehalt an dem wirksamen Stoff und womöglich mit weniger störenden Nebeneigenschaften. Solche erhielt man zu Javelle bei Paris durch Einleiten von Chlor in eine alkalische Flüssigkeit, nämlich in Pottaschelösung, das ist das noch heute nach seinem Ursprungsorte benannte Eau de Javelle. Anderwärts leitete man Chlor in Sodalösung und verkaufte dies Bleichwasser unter dem Namen Eau de Labarraque. Tennant in Glasgow nahm dann 1798 wieder das billigste Alkali zu Hilfe und leitete Chlorgas in Kalkwasser, und 1799 fand er, daß auch gebrannter Kalk, der mit so wenig Wasser gelöscht ist, daß er nur zu einem trockenen Pulver zerfällt, beim Überleiten von Chlor bleichende Wirkung annimmt, d. h. daß, wenn man hernach ihn in Wasser aufschwemmt, die so gewonnene Lösung zu Bleichzwecken dienen kann. So ist Tennant der Entdecker des Chlorkalks geworden, der nun eine bequeme versandfähige Ware darstellt. In seiner Fabrik zu Glasgow ist er zuerst hergestellt worden, und das von ihm begründete Etablissement ist noch heute die größte Chlorkalkfabrik der Welt.

Es ist gewiß der Erwähnung wert, daß Tennant ziemlich zu gleicher Zeit die Verwertung der Salzsäure in Form von Chlorkalk, die sie in den allergrößten Mengen verbraucht, auffand, in welcher Leblanc seinen Sodaprozeß in Gang brachte, der die bis dahin sehr teure Salzsäure so reichlich als Nebenprodukt liefert.

Das erwähnte Preisausschreiben der französischen Akademie vom Jahre 1775 (s. S. 359) hatte einen mächtigen Anstoß zur Erzeugung künstlicher Soda gegeben. Daß seine Darstellung aus Kochsalz, also aus Chlornatrium damals direkt nicht zu erreichen war, scheint man früh eingesehen zu haben, und wandte sich bald dem schwefelsauren Natron, dem Sulfat

zu, dessen Gewinnung aus Kochsalz wir ja jetzt kennen. Wirklichen Erfolg mit dessen Überführung in Soda erzielte also Leblanc nach dem von uns ebenfalls schon beschriebenen Verfahren, und es ist sehr interessant, daß das Wichtigste in dieser Fabrikation, nämlich das Schmelzen des schwefelsauren Natrons mit Kohle und Kreide, von ihm schon ganz in der Art angegeben ist, wie es bis auf den heutigen Tag ausgeführt wird. Nach dem, was wir jetzt bereits von dem Verfahren und seinem Einfluß auf die Begründung der chemischen Großindustrie erfahren haben, dem sich aber noch vieles anschließen wird, werden wir die Behauptung nicht übertrieben finden, daß Leblanc wohl als einer der berühmtesten aller Technologen auf dem Gebiete der chemischen Industrie stets wird angesehen werden müssen.

Er ist 1753 zu Issoudun in Frankreich geboren worden, beschäftigte sich mit chemischen Arbeiten aller Art und so auch mit der damals auf der Tagesordnung stehenden Sodafrage. Im Jahre 1787 scheint er sein Verfahren bis zur technischen Verwertbarkeit ausgearbeitet gehabt zu haben. Es erforderte zu seiner Installation, d. h. zur Herstellung der nötigen Schwefelsäurefabrik, des nötigen Sulfatofens und des nötigen Sodaschmelzofens nebst den nötigen Auslaugeeinrichtungen, wenn man noch von jeder Nebenindustrie absieht, recht bedeutende Geldmittel, zu deren Hergabe sich der Herzog von Orléans entschloß, nachdem d'Arcet, Professor der Chemie am Collège de France, das Verfahren für mit Nutzen im großen durchführbar erklärt hatte. Die zu St. Denis bei Paris hierauf eingerichtete Fabrik scheint anfangs erfolgreich gearbeitet zu haben, aber ihre Weiterexistenz wurde durch die politischen Verhältnisse untergraben. Der Herzog von Orléans hatte sich zwar als Anhänger der Revolution erklärt und den Namen Egalité angenommen, endigte aber trotzdem 1793 auf dem Schafott, und als darauf der Staat seine Güter einzog und verkaufte, wurde auch die Fabrik zu St. Denis versteigert.

Der Mangel an Pottasche hatte inzwischen durch die fortdauernden Kriege der Republik, die ihre Einfuhr zur See fast unmöglich machten, in Frankreich eine solche Höhe erreicht, daß der Wohlfahrtsausschuß nunmehr im Interesse des Vaterlandes, um es vom Auslande unabhängig zu machen, befahl, daß jeder, der Soda herzustellen verstände, sein Verfahren hierfür einer Kommission von Sachverständigen mitzuteilen habe. Auch Leblanc mußte sein Verfahren bekannt geben und verlor so sein ihm 2 Jahre vorher auf seine Methode verliehenes Patent. Die Sperrung der Fabrik hatte ihn, der schon glaubte, die wirtschaftlichen Erfolge der glänzenden Bethätigung seiner Begabung für die chemische Industrie in Händen zu haben, plötzlich aus allem herausgerissen, und es dauerte 6 Jahre, bis man sich entschloß, ihm die ehemalige Fabrik wieder zu übergeben, aber ohne jede Entschädigung für den angerichteten Schaden, indem die kostenlose Rückgabe der Fabrik die Entschädigung darstellen sollte.

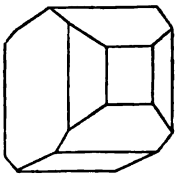
Die Wiederinstandsetzung derselben zehrte jedoch Leblancs Vermögen völlig auf, so daß der Betrieb, infolge von Mangel an Mitteln, nie mehr recht in Gang kam. Im Jahre 1806 gab er den schweren Kampf ums Dasein auf, und dieser große Erfinder endete durch Selbstmord. Seinen Enkeln hat die französische Regierung eine nationale Belohnung zugewiesen. Das Leblancsche Verfahren geriet zwar nicht in Vergessenheit, kam sogar allmählich nach England, nahm aber dort erst seinen gewaltigen Aufschwung, nachdem im Jahre 1824 die Steuer auf Salz, also auf ihr Ausgangsmaterial, die bis dahin bis 600 Mark für 1000 kg betragen hatte, aufgehoben worden war. In Deutschland ist Leblanc-Soda zuerst in Schönebeck an der Elbe dargestellt worden, aber noch 1843 erreichte die Fabrikation kaum 200 t.

Nach dieser Abschweifung auf das gewiß nicht uninteressante Gebiet der historischen Entwickelung eines so wichtigen Teils der chemischen Technologie kehren wir nunmehr wieder zur Chlorgewinnung zurück.

Die Darstellung des Chlorgases erfolgt also, wie erwähnt, noch immer zumeist aus Braunstein und Salzsäure. Braunstein ist chemisch Mangansuperoxyd, ist also, wie schon aus seinem Namen hervorgeht, sehr reich an Sauerstoff, und die Umsetzung geht in folgender Art, durch Oxydation des Wasserstoffs der Salzsäure zu Wasser, vor sich:

Braunstein	+	Salzsäure	=	Chlorgas	+	Manganchlorür	+	Wasser
MnO_2	+	$4\,HCl$	=	$2\,Cl$	+	$MnCl_2$	+	$2\,H_2O$.

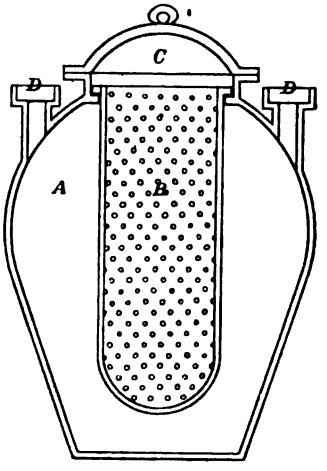
Der bergwerksmäßig in beliebigen Mengen gewinnbare Braunstein, er findet sich in der ganzen Welt, ist nur selten das reine Manganſuperoxyd, welches speziell bei den Mineralogen den Namen Pyrolusit führt, sondern ein Gemisch von diesem mit anderen an Sauerstoff etwas ärmeren Oxyden des Mangans. Da für die Chlorgewinnung nur sein bedeutender Sauerstoffgehalt in Betracht kommt, hat man ganz besondere und schnell ausführbare analytische Methoden ersonnen, die in kürzester Frist zeigen, wieviel Chlor irgend ein Braunstein aus einer Salzsäure zu entwickeln vermag, da ja danach sich allein sein Handelswert richten kann.



395. Pyrolusit.

In Deutschland und Frankreich pflegt man sich zur fabrikmäßigen Darstellung des Chlorgases zumeist des beistehend abgebildeten Apparats zu bedienen.

Das Gefäß A faßt etwa 375 l. In den Stebeinhang B gibt man den Braunstein, nachdem man die Salzsäure eingefüllt hat. Der Deckel des Gefäßes C wird von der schon erwähnten Rohrmannschen Fabrik so vollkommen aufgeschliffen geliefert, daß jede Art der Abdichtung, also etwa das Zwischenlegen von Gummi oder Asbestplatten völlig überflüssig wird, und wer einmal wie Verfasser mit undichten Apparaten hat arbeiten müssen, Chlorgas in der Technik geschluckt hat, weiß den Wert dieser Vervollkommnung zu schätzen. Die beiden Seitenöffnungen D führen das Gas vermittelst Thonrohrleitungen an den Ort seiner Bestimmung. Man stellt diese Tourills zu sechs und noch mehreren in große Holzkästen, denn wenn auch anfangs die Chlorentwickelung nach Zusammengabe der Salzsäure und des Braunsteins in der Kälte vor sich geht, so muß doch später, um den Inhalt der Gefäße auszunutzen, durch Einleiten von Dampf in den Kasten die Temperatur erhöht werden.

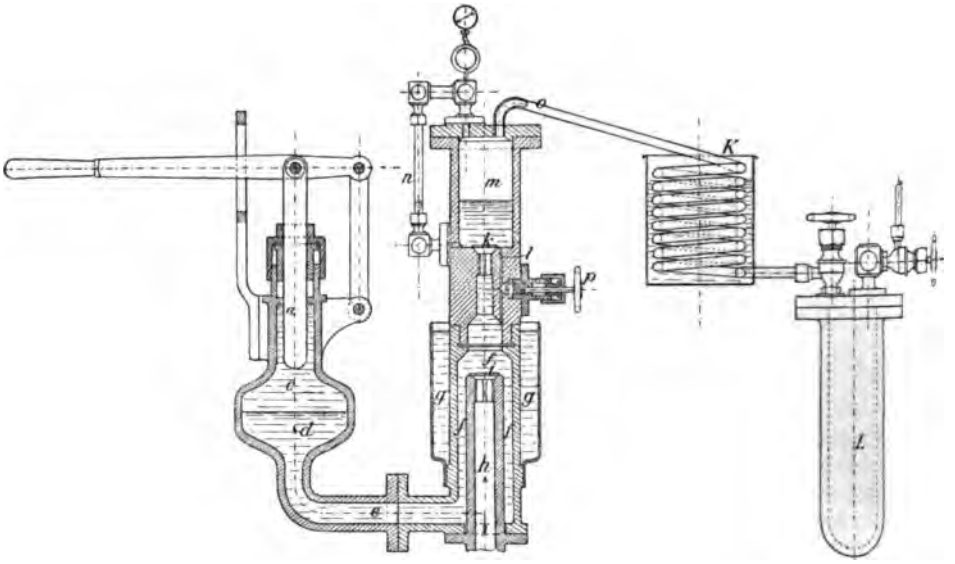


396. Chlorentwicklungsgefäß.

In den englischen Chlorfabriken, aber jetzt auch auf dem Festlande, baut man, um die Verwendung der Tourills zu umgehen, aus Sandsteinplatten, die man in Teer gekocht hat, um sie sicher gasdicht zu haben, große Kasten, die die Verarbeitung weit größerer Mengen auf einmal gestatten. Ihre Abbildung finden wir weiterhin. Man füllt einen solchen Apparat ziemlich mit Braunstein voll, gießt 600 kg Salzsäure hinein und läßt nun direkt Dampf in die Mischung strömen. Nach etwa 12 Stunden ist die Chlorentwickelung beendigt, worauf man die entstandene Chlormanganlauge ablaufen und frische Salzsäure einfließen läßt, denn die Menge des Braunsteins reicht für ein weit größeres Quantum von Salzsäure aus. Niemals gelingt es, alle Salzsäure zur Einwirkung auf den Braunstein zu bringen, und die wegfließende Lauge, die meist 6 % noch von ihr, also sehr viel unausgenutzte Salzsäure, enthält, ist sehr sauer. Wir kommen auf diese „sauren Manganbrühen“ noch zurück.

Das erhaltene Chlorgas mußte früher stets an Ort und Stelle und momentan verbraucht werden, da man es nicht aufbewahren konnte. Das ist also jetzt ganz anders geworden, und wir sehen hier den zu seiner Verflüssigung dienenden Apparat. Während feuchtes Chlorgas alle Metalle zerstört, hat man gefunden, daß trockenes komprimiertes Chlor weder für sich noch im Kontakt mit konzentrierter Schwefelsäure, Gußeisen, Schmiedeeisen, Stahl, Phosphorbronze, Messing, Kupfer, Zink, Blei angreift. Deshalb können die Kompressionsvorrichtungen und Aufbewahrungsgefäße aus diesen Metallen hergestellt sein. Der Schutz der bewegten und mit Luft in Berührung stehenden Teile des Apparates gegen die Einwirkung der Schwefelsäure wird durch auf ihr schwimmendes Petroleum erreicht. In einem U-förmigen Gefäß bewegt sich im linken Schenkel ein Pumpenkolben a in Petroleum c. Dieses ist durch Schwefelsäure, welche den ganzen übrigen Teil des U-förmigen Gefäßes d e f erfüllt, abgeschlossen. An der

Berührungsstelle von beiden Flüssigkeiten ist der Schenkel erweitert, um die senkrechte Bewegung der Begrenzungsschicht zu vermindern und dadurch Emulsionen vorzubeugen. Der rechte Schenkel f steht durch ein Ventil k und eine Durchbohrung l, welche durch Ventil p verstellbar ist, in Verbindung mit dem Raum m. Raum m trägt einen Flüssigkeitsanzeiger n und das Rohr o, durch welches das komprimierte Chlor in die Kühlschlange K und nach dem Autoklaven L gelangt. In f befindet sich noch ein Rohr h mit Ventil i, durch welches beim Aufgang des Kolbens a trockenes Chlor nach f gesaugt wird. Der Schenkel f wird durch ein Wasserbad g auf etwa 50—80° C. geheizt, weil in kalter Schwefelsäure sich Chlor löst. Beim Heben des Kolbens a wird Chlor durch h und i eingesaugt, beim Niedergange durch k nach m gepreßt. Würde hierbei nur eine kleine Blase Chlor in f verbleiben, so bedingte diese bei der darauf folgenden Druckentlastung infolge Hebens des Kolbens a einen großen schädlichen Raum, denn das Chlor muß zu seiner Verflüssigung auf etwa $^1/_{16}$ seines ursprünglichen Volumens zusammengedrückt



397. Verflüssigung von Chlorgas.

werden. Um diesem Nachteile vorzubeugen, ist die Durchbohrung l angebracht. Bei jeder Entlastung in f dringt von m nach f eine kleine Menge Schwefelsäure, welche bedingt, daß etwas weniger Chlor angesaugt wird, als dem Hub von a entspricht. Die Folge davon ist, daß beim Niedergange von a nicht nur sämtliches Chlor nach m gedrückt wird, sondern außerdem noch etwas Schwefelsäure, nämlich gerade so viel, als vorher durch l nach f geflossen ist. Das Ventil p wird nach dem Stande der Flüssigkeit in m eingestellt.

Das andauernde Hineinpressen von Chlorgas in den Autoklaven L führt dann schließlich seine Verflüssigung in diesem herbei.

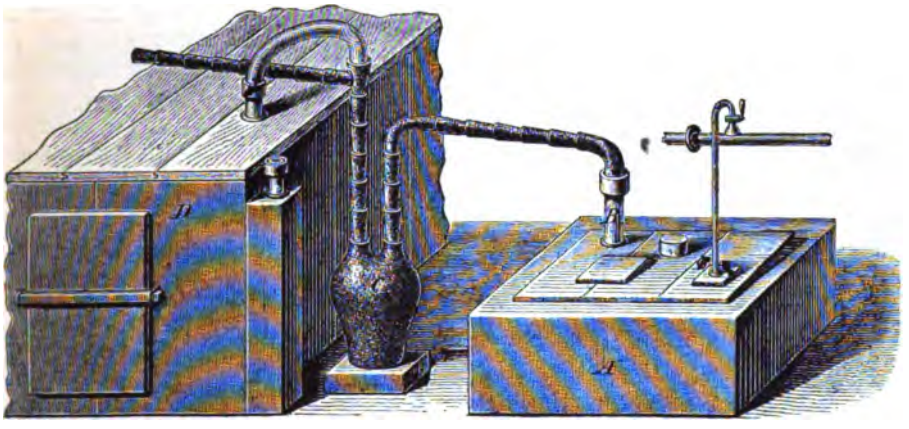
Das verflüssigte Chlor, eine Flüssigkeit, die sicher zu den eigenartigsten gehört, die es gibt, ist von gelber Farbe, die in dickeren Schichten einen Stich ins Orange annimmt. Bei einer Kälte von 102° erstarrt sie, bei —33° übt sie genau den Druck einer Atmosphäre aus, bei 0° 3,66 Atmosphären, bei 40° 11,5 Atmosphären, bei 80° 28,4 Atmosphären. Ihr spezifisches Gewicht ist bei 0° 1,469.

Zum Aufbewahren bezw. zum Transport oder Versand des flüssigen Chlors dienen Autoklaven, teils nur aus Eisen oder Stahl, teils erhalten sie eine innere Auskleidung von Blei, Kupfer oder Messing, um diese starkwandigen und infolge ihrer subtilen Herstellung kostspieligen Gefäße vor der vorzeitigen Abnutzung durch den Gebrauch, sowie vor der Einwirkung von feuchter Luft oder feuchtem Chlor zu schützen.

Der Chlorkalk.

Der für die Fabrikation des Chlorkalkes zu verwendende Ätzkalk muß bestimmte Eigenschaften zeigen, die die Praxis im Laufe der Zeit ergeben hat. Vor allen Dingen muß der zu brennende Kalkstein möglichst rein sein, damit keine Verunreinigungen ins fertige Produkt kommen, namentlich darf er kein Eisen enthalten, weil dieses zur Gelbfärbung des fertigen Produktes Veranlassung geben würde, während es doch weiß sein soll. Die Chlorkalkfabrikanten brennen deshalb ihren Kalkstein selbst, um möglichst sicher zu gehen, und zwar zumeist in Flammöfen, wie wir Seite 325 erwähnten.

Der gebrannte Kalk wird zu seiner Löschung auf dem Boden etwa 40 cm hoch aufgeschüttet und mit wenig Wasser übergossen, unter welchen Bedingungen er sich ganz allmählich löscht und zu Pulver zerfällt. Die Menge Wasser, die das Kalkhydrat jetzt enthält, ist von großer Wichtigkeit für die spätere Haltbarkeit des Chlorkalkes, so daß also auch mit dem Wasserzusatz vorsichtig zu verfahren ist. Ist aller Kalk zerfallen und abgekühlt, so muß er ein feines Sieb passieren, und das durch dieses Durchgefallene ist dann das Material für die Chlorkalkfabrikation, nachdem es noch einige Tage gelegen hat, um sich vollständig zu löschen, falls bis dahin noch einzelne Teilchen sich der Einwirkung des Wassers entzogen hatten.



398. Chlorkalkfabrikation.

Im beistehend abgebildeten Apparate sehen wir in A den aus Sandsteinplatten hergestellten Chlorentwickler mit seiner Zuleitung für den Dampf und dem weiten Thonrohr B zur Ableitung des sich entwickelnden Chlorgases, das zu seiner Reinigung das zweihalsige Thongefäß C passiert. In diesem setzt sich kondensiertes Wasser ab, und es fallen auch etwaige Tropfen aus dem Entwickler mechanisch mitgerissener Manganlauge zu Boden. So oberflächlich gereinigt, tritt das Gas in die Kammer D. Ihr Boden ist aus abgeschliffenem Sandstein hergestellt, und aus dem gleichen Material bestehen die Wände, während der Deckel aus hölzernen Bohlen zusammengefügt ist. Die Kammer hat in den Seitenwänden Thüren, durch die die Arbeiter hineinkriechen können. Durch diese bringen sie auch das Kalkhydrat hinein und verteilen es in einer etwa 15 cm starken Schicht auf dem Boden. 100 kg Kalkhydrat erfordert zwischen 5 und 6 qm Bodenfläche.

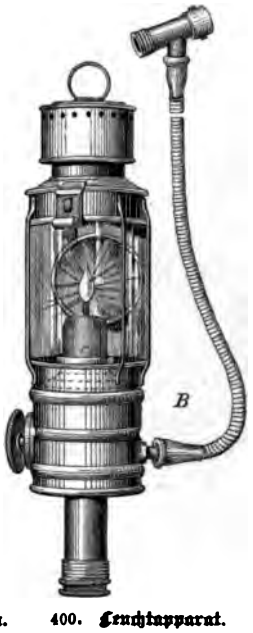
Nach Erledigung dieser Arbeit streichen sie die Fugen der Thüren mit Lehm dicht. Läßt man nunmehr Chlor sich entwickeln, so wird dieses Gas, welches weit schwerer als Luft ist, sein spezifisches Gewicht ist 2,45 auf Luft gleich 1 bezogen, sich in der Kammer D zu Boden senken und vom Kalk absorbiert werden, wobei, wie sich ergeben hat, es nicht nötig ist, den Kalk umzuschaufeln, indem das Pulver bis zum Grunde gleichmäßig vom Chlor durchdrungen wird. Die völlige Sättigung pflegt 24 Stunden zu erfordern. Man setzt dann die Kammer mit dem Kamin der Fabrik in Verbindung, um frische Luft in sie zu bringen, worauf sie entleert und der Chlorkalk in Fässer verpackt werden muß. Es

war das eine höchst unangenehme Aufgabe für die mit ihr beschäftigten Arbeiter, die sich ehemals durch Verbinden von Mund und Nase mit nassen Tüchern möglichst gegen das Chlor zu schützen suchten, während man jetzt eigene Respirationsapparate für derartige Zwecke konstruiert hat.

Wir geben hier einen solchen nach System König konstruierten Apparat wieder, er ist in vielen Tausenden von Exemplaren nicht nur in chemischen Fabriken, sondern auch in sonstigen Betrieben, in denen schädliche Gase vorkommen, verbreitet, und der Ingenieur Kleemann in Hamburg hat sich durch seine Einführung große Verdienste im Interesse des Arbeiterstandes erworben.

Wie wir sehen, besteht er aus einer passend montierten Maske, dem Lederhelm A, dem ein Arbeiter vermittelst eines Blasebalges die nötige Luft zuführt, die auch gleichzeitig eine Lampe B speisen kann, da es sich ja sehr häufig um dunkle Räume handelt. Eine Abzweigung des Luftzuführungsschlauches dient als Sprachrohr und ermöglicht es auch, dem sich innerhalb des ohne Schutz unbetretbaren Raumes Befindenden etwaige Anordnungen zukommen zu lassen.

399. Schutzhelm mit Luftzuführung von hinten.



400. Leuchtapparat.

In England wendet man für die Chlorkalkfabrikation neuerdings statt der Steinkammern auch sehr große Bleikammern von 30 m Länge und 10 m Breite an, die in der Art der Schwefelsäurekammern hergerichtet sind und auf Postamenten stehen. Letzteres bietet den Vorteil, daß man sie durch eine im Boden angebrachte Klappe ohne Öffnung der Kammer nach Fertigstellung des Chlorkalkes entleeren kann, indem man unter diese die Fässer bringt und das Hinschieben des Chlorkalkes mit langen Krücken von außen her besorgt.

In den Bleikammern macht sich die äußere Temperatur natürlich weit rascher bemerkbar als in den Steinkästen, und da sie in Chlorkalkkammern nicht über 25° steigen soll, weil sich sonst statt Chlorkalk chlorsaurer Kalk zu bilden anfängt, sind sie auf dem Festlande wegen der größeren Sommerhitze nicht sehr angebracht. Überhaupt ist es leichter, im Winter als im Sommer gleichmäßigen Chlorkalk zu produzieren.

Aus 100 kg Kalkhydrat erhält man 150—165 kg von ihm.

Das chlorsaure Kali.

Ein weiteres in großen Mengen mit Hilfe von Chlor dargestelltes Präparat ist das chlorsaure Kali, vom Publikum Kalichloricum genannt. Läßt man Chlor auf heiße Kalilauge wirken, so erhält man es nach der Gleichung

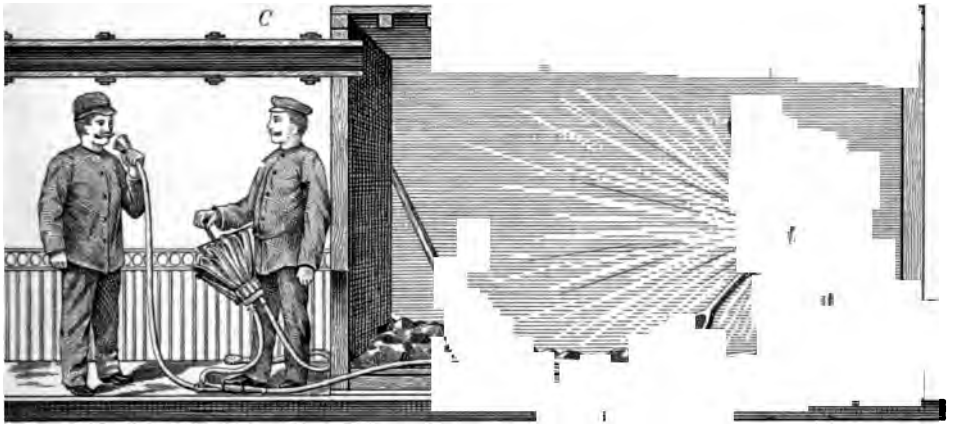
Kalilauge	+	Chlor	=	Chlorsaures Kali	+	Chlorkalium	+	Wasser
$6\,KOH$	+	$6\,Cl$	=	$KClO_3$	+	$5\,KCl$	+	$3\,H_2O$.

aber es bildet sich, wie wir aus ihr ersehen, zugleich Chlorkalium, und zwar fünf Chlorkalium auf ein chlorsaures Kali, ein gewiß wenig erfreuliches Verhältnis. Liebig machte dann den ausgezeichneten Vorschlag, das Chlor statt in Kalilauge in warme Kalkmilch

einzuleiten, wobei sich chlorsaurer Kalk nebst Chlorcalcium bilden, und den chlorsauren Kalk nachträglich in chlorsaures Kali überzuführen. Und danach wird denn auch jetzt noch gearbeitet. Das Chlorgas wird in Kalkmilch geleitet und die so erhaltene Lauge, die nicht sehr stark ausfällt, konzentriert. Während des Eindampfens setzt man ihr nunmehr Chlorkalium zu und läßt sie hierauf erkalten. Dabei kristallisiert dann chlorsaures Kali aus, indem sich der chlorsaure Kalk mit dem Chlorkalium zu ihm und Chlorcalcium umsetzen:

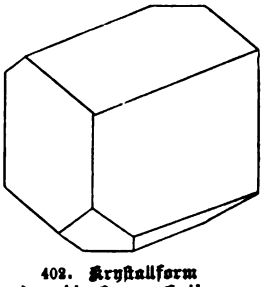
Chlorsaurer Kalk + Chlorkalium = Chlorsaures Kalium + Chlorcalcium
$Ca(ClO_3)_2$ + 2 KCl = 2 $KClO_3$ + $CaCl_2$.

Zu seiner Reinigung wird das so erhaltene Rohsalz nochmals aus Wasser umkristallisiert. Wenn durch den billigen Kalk auch am teuren Kali gespart wird, gehen aber gerade so wie früher von den sechs nach der oben stehenden Gleichung notwendigen Chloratomen auch nach Liebigs Verfahren fünf statt ehemals in Chlorkalium jetzt in das wertlose Chlorcalcium über, und nur das sechste Atom kommt im chlorsauren Kali zur Verwertung. So kann es uns denn nicht wunder nehmen, daß man die Methode der Darstellung des chlorsauren Kalis andauernd zu verbessern bestrebt ist, ohne aber bisher technische Erfolge erzielt zu haben.



401. Anwendung des Respirationsapparats in der Bleikammer.

Das chlorsaure Kali enthält über 39 % Sauerstoff, und daher verbrennen ihm zugemischte Körper sehr leicht, ja viele solche Mischungen explodieren schon auf bloßen Stoß, so daß ihre Herstellung nicht ungefährlich ist. Für sie, die viel in der Feuerwerkerei gebraucht werden, feuchtet man deshalb vorher das chlorsaure Kali mit Spiritus an, den man aus der Mischung hernach wieder abdunsten läßt. Außerdem braucht die Zündholzindustrie viel chlorsaures Kali, auch spielt es in der Färberei als Oxydationsmittel eine Rolle, ebenso bei der Darstellung von Farben oder Herstellung von Zwischenprodukten für diese, wie in der Alizarinschmelze. Gibt man ein wenig von ihm in Wasser und rührt es mit der Zahnbürste um, so hat man ein die Zähne ausgezeichnet konservierendes Zahnputzwasser. Auch dienen warme also weit stärkere Lösungen von ihm als Gurgelwasser bei Halsentzündungen, doch darf man sie nicht herunterschlucken, weil sie giftig wirken. Das chlorsaure Kali verwandelt nämlich das Oxyhämoglobin des Blutes, das ist dessen normaler roter Farbstoff, durch Oxydation, indem es also seinen Sauerstoff an diesen abgibt, in Methämoglobin, einen braunen Farbstoff, der die Lebensfunktionen, welche das Oxyhämoglobin ermöglicht, nicht zu unterhalten vermag.



402. Kristallform des chlorsauren Kalis.

Wenn wir die Darstellung des Chlores aus der Salzsäure mit Mangansuperoxyd betrachten, so sehen wir, daß das Verfahren als solches außerordentlich viel zu wünschen übrig läßt. Denn nach der Gleichung

$$MnO_2 + 4HCl = MnCl_2 + 2Cl + 2H_2O$$
Mangansuperoxyd + Salzsäure = Manganchlorür + Chlor + Wasser

wird ja die Hälfte des Chlors vom Mangan festgehalten, und dazu kommt noch, daß, wie erwähnt, die Reaktion durchaus nicht quantitativ verläuft, sondern noch viele Salzsäure unzersetzt, also unausgenutzt bleibt.

Von den zahlreichen Methoden, die nun dazu dienen sollen, dieses Verfahren zu ersetzen, wollen wir nur diejenige besprechen, welche theoretisch so vollendet ist, daß sie nicht mehr zu übertreffen und praktisch so weit ausgebildet ist, daß sie fabrikmäßig Verwendung findet, also nicht nur in Form schöner Beschreibungen die Patentlitteratur anhäufen hilft. Der Prozeß ist zuerst durch den Engländer Deacon technisch durchgeführt worden und heißt nach ihm der Deaconprozeß. Er beruht auf der von uns schon eingangs erwähnten Gleichung

Salzsäure + Sauerstoff (aus der Luft) = Chlorgas + Wasser

$$2HCl + O = 2Cl + H_2O.$$

Die Oxydation des Wasserstoffes der Salzsäure zu Wasser soll also die Luft bewirken. Ihr Sauerstoff vermag dies jedoch nur in Gegenwart einer Kontaktsubstanz. Wie wir das Platin in der Schwefelsäureanhydridfabrikation als solche (s. S. 372) kennen lernten, so finden wir hier Kupfersalze zu dem Zweck verwendet, die sich für ihn als die geeignetsten erwiesen haben. Hier ist aber nicht Asbest das die Oberfläche vergrößernde Mittel, sondern hier nimmt man poröse Thonkugeln von $1\frac{1}{2}$ cm Durchmesser, die man mit Kupfervitriollösung tränkt.

Das aus dem Sulfatofen kommende salzsaure Gas wird für diese Art der Chlorbereitung nun nicht erst in jenen großen Anlagen, die wir kennen gelernt haben, in Wasser gelöst, um als flüssige Salzsäure weiter verarbeitet zu werden, sondern so wie es als Gas aus dem Ofen kommt — man sieht, welcher Vorteil schon hierin liegt — direkt mit Luft zusammen bei einer Temperatur zwischen 370° und 425° über die Kontaktsubstanz geleitet. Würde sich die Umsetzung zwischen dem salzsauren Gas und der Luft hier quantitativ vollziehen, so wäre der Prozeß als ideal zu bezeichnen, nach Deacons Annahme sollte das der Fall sein. Aber in der Praxis vermag man höchstens 60% umzusetzen und kommt nur selten viel über 50% hinaus, doch auch dieses genügt gegenüber dem alten Verfahren, das es längst verdrängt hätte, wenn sich nicht die Durchführung des Ganzen als in der Fabrikpraxis ziemlich schwer erweisen würde, indem es zu viel Aufmerksamkeit erfordert.

Das aus dem Umsetzungsapparat kommende Gasgemisch besteht somit aus Chlor, unveränderter Salzsäure, Wasserdampf, Stickstoff der Luft und auch noch ein wenig unverbrauchtem Sauerstoff. Um es für die Chlorkalkfabrikation verwenden zu können, muß es jetzt abgekühlt und getrocknet werden, welches letztere man so erreicht, daß man es durch einen Koksturm treibt, in welchem von oben her konzentrierte Schwefelsäure herabrieselt, die doch alle Feuchtigkeit absorbiert. Das dem Turm entströmende Gas ist dann der Hauptsache nach trockenes, stark mit Stickstoff verdünntes Chlorgas, das in die Chlorkalkkammern geleitet wird. Wegen seiner Verdünnung mit Stickstoff muß man diese aber weit größer als die älteren anlegen und in ihnen auch den Kalk auf Stellagen aufstellen, also seine Oberfläche möglichst vermehren, um völlige Absorption des Chlors zu erreichen. Hinter den Kammern befindet sich schließlich ein Exhaustor, welcher das Gemisch der Gase durch den ganzen Apparat saugt, denn der natürliche Zug eines Kamins reicht für diese komplizierte Wanderung des Gasstroms nicht mehr aus.

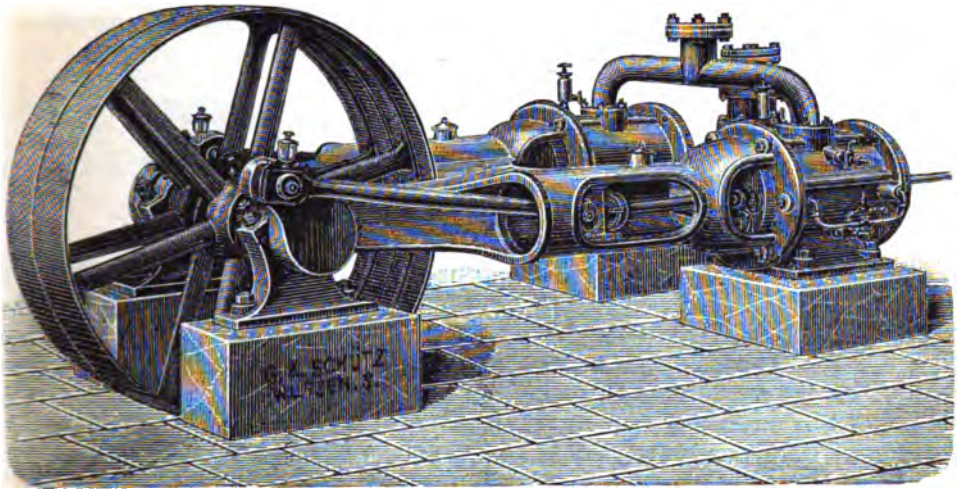
Die Regenerierung des Braunsteins. Die „sauren Manganbrühen" (s. oben), welche die Chlordarstellung aus Braunstein und Salzsäure als Abfall liefert, waren eine fatale Zugabe zur Fabrikation, denn sie, die neben ihren 6% Salzsäure noch mit Chlorgas gesättigt waren, waren sehr schwer zu beseitigen. Der Chlorgeruch fortgegossener Laugen machte sich über 1 km weit bemerkbar, und Flüsse oder Bäche, die sie aufnehmen mußten, wurden aufs schlimmste verunreinigt. So hatte man denn seit langem ein Interesse daran, sie irgendwie zu verwerten. Dabei konnte es sich immer nur um ihr Mangan

handeln. Nach gewiß dreißigjährigen vergeblichen Bemühungen zahlreicher Technologen hat dann Weldon die Aufgabe, das Mangan aus den saueren Brühen billig in Form von Superoxyd wiederzugewinnen, so vollkommen gelöst, daß die Einführung dieses Fabrikationszweiges für jede Sodafabrik, die nicht zum Deaconprozeß übergehen wollte und somit überhaupt keinen Braunstein braucht, sehr rasch zur Notwendigkeit wurde, wenn sie überhaupt konkurrenzfähig bleiben wollte.

Für den Weldonprozeß werden die sauren Laugen mit kohlensaurem Kalk, z. B. mit feingemahlener Kreide, neutralisiert, indem sich aus der Salzsäure und dem kohlensauren Kalk Chlorcalcium bildet, während die Kohlensäure entweicht. Die nunmehr neutrale Flüssigkeit läßt man, nachdem sie sich völlig geklärt hat, in einen aus Eisenplatten zusammengenieteten Bottich von 7,5 m Höhe und 2,5 m Durchmesser laufen. Hier setzt man ihr so viel Kalkmilch zu, daß sie schwach alkalisch wird. Dabei bilden sich aus ihr Manganoxydul und Chlorcalcium.

Manganchlorür + Kalk = Manganoxydul + Chlorcalcium

$$MnCl_2 + Ca(OH)_2 = Mn(OH)_2 + CaCl_2.$$



403. Doppeltwirkende Luftkompressionsmaschine von G. A. Schütz in Wurzen.

Das Manganoxydul bindet sogleich chemisch Wasser und erscheint als Manganoxydulhydrat, wie wir aus der Gleichung ersehen. Bläst man nun durch das in dem tiefen Bassin befindliche Gemisch Luft, so wirkt diese außerordentlich stark oxydierend, und das Manganoxydul geht in Mangansuperoxyd über. Dieser schnelle Übergang findet nur bei Gegenwart von etwas überschüssigem Kalk statt, was speziell Weldon herausfand. Ohne diesen Überschuß war schon früher in ähnlicher Weise, aber erfolglos zu arbeiten versucht worden. Um 1000 kg Mangansuperoxyd wiederzugewinnen, muß man 8000—16 000 cbm Luft durch die Flüssigkeit jagen, was 1700—3400 cbm Sauerstoff entspricht, und zu dieser Leistung bedarf es sehr großer Luftpumpen und Dampfmaschinen für ihren Antrieb. Wir geben hier in der Abbildung eine horizontale doppeltwirkende Luftkompressionspumpe wieder, wie sie Schütz in Wurzen für derartige Zwecke der chemischen Industrie baut.

Das Durchblasen der Luft zur völligen Oxydation des im Turm, so wird das tiefe Bassin bezeichnet, befindlichen Gemisches erfordert meist 3—4 Stunden. Hierauf läßt man das erhaltene Mangansuperoxyd sich in Bassins absetzen und die über dem Schlamm stehende Chlorcalciumlösung, für die es keine Verwendung gibt, weglaufen. Die Salzsäure der sauren Manganbrühen und der Chlorgehalt des Manganchlorürs gehen also verloren.

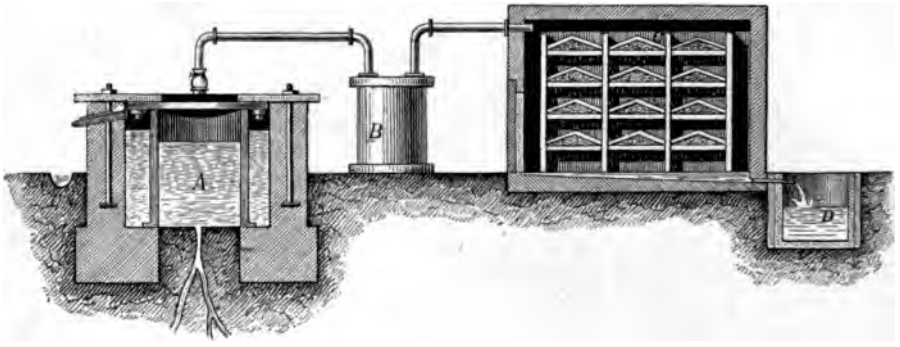
Das in Form des Schlammes dagegen wiedergewonnene Mangansuperoxyd dient ohne weiteres zu neuer Chlorentwickelung. Man läßt wieder Salzsäure auf dasselbe in großen Steinkästen, in welche man den Schlamm hat laufen lassen, einwirken, und dieses fein verteilte

Manganſuperoxyd wird nun von der Salzſäure ganz anders angegriffen, als der natürliche Braunſtein. Das Kunſtprodukt und die Salzſäure wirken aufeinander weit vollkommener, und nur etwa $^1/_2$ % von ihr gegen die ehemaligen 6 % bleibt unausgenutzt, worin natürlich ein zweiter großer Vorteil des Verfahrens liegt. Auf dieſe Art wandert alſo das Mangan unausgeſetzt in der Fabrikation hin und her, und nur die unvermeidlichen Fabrikationsverluſte an ihm müſſen erſetzt werden, ſie betragen aber in gut geleiteten Fabriken unter 2 % der verwendeten Menge.

Durch den Weldonprozeß iſt alſo die ehemalige Chlorkalkfabrikation neben dem Deaconprozeß exiſtenzfähig geblieben. „Beide oxydieren den Waſſerſtoff der Salzſäure mittels des Sauerſtoffs der Luft zu Waſſer.“ Deacon thut dies auf direktem Wege und erzwingt ſo die Umſetzung der Hälfte der in Arbeit genommenen Salzſäure in Chlor. Weldon benutzt als Sauerſtoffüberträger das Mangan und verliert hierbei dasjenige Quantum Salzſäure, welches als wertloſe Chorcalciumlöſung fortläuft.

Das doppeltkohlenſaure Natron.

Die Soda iſt kohlenſaures Natron, ſie vermag, wenn ſie mit Kohlenſäure bei Gegenwart von Waſſer in Berührung kommt, noch ein Molekül von dieſer aufzunehmen und in doppeltkohlenſaures Natron überzugehen.



404. Gewinnung von doppeltkohlenſaurem Natron mittels natürlicher Kohlenſäure.

Soda + Waſſer + Kohlenſäure = Doppeltkohlenſaures Natron

$$Na_2CO_3 + H_2O + CO_2 = 2NaHCO_3.$$

Deſſen Darſtellung erfolgt ſo, daß man Kryſtallſoda in einem geſchloſſenen Raume auf Horden ausbreitet und nun Kohlenſäure einleitet. Früher nahm man dazu gern natürliche Kohlenſäure, wie ſie mit Sauerbrunnen ſo maſſenhaft der Erde entſtrömt, die man auf dieſe Weiſe verwertete, was vielleicht auch heute noch an einzelnen Orten geſchieht. Die Quelle wird mit einem Mauerwerk umgeben, und in den ſo erhaltenen Brunnen eine metallene Glocke eingeſetzt, unter welcher ſich das kohlenſaure Gas ſammelt, während das Waſſer ſeitwärts abfließt. Aus der Glocke A wird es durch das Waſchgefäß B geleitet und ſtrömt von da weiter nach der Abſorptionskammer C. In dieſer liegt auf Geſtellen die Kryſtallſoda. Sie ſchließt doch 10 Moleküle Kryſtallwaſſer ein, während, wie ſich aus der obigen Gleichung ergibt, nur ein Molekül zur Bildung des doppeltkohlenſauren Natrons erforderlich iſt. Daher fließt das überſchüſſige Waſſer als geſättigte Löſung ab, die man in D auffängt. Durch Anwendung mehrerer Kammern kann das Verfahren zu einem kontinuierlichen gemacht werden.

Die Sodafabriken, die die Darſtellung des doppeltkohlenſauren Natrons nebenbei betreiben, haben aber natürlich nach anderen Quellen für die Kohlenſäure geſucht. Solange Salzſäure faſt wertlos war, haben ſie dieſe Säure, wie es die Mineralwaſſerfabrikanten noch heute meiſt thun, auf Kreide oder Kalkſtein, alſo kohlenſauren Kalk, wirken laſſen. Dabei bilden ſich, wie jetzt öfter erwähnt, Chlorcalcium und Kohlenſäure, und ſie haben dieſes kohlenſaure Gas in die Abſorptionskammern geleitet. Jetzt entnimmt

man in allen Betrieben, die viel Kohlensäure brauchen, diese den Kalköfen (s. S. 35). Mit dieser Kohlensäurequelle kann keine andere, abgesehen von der zufällig an einzelnen Orten der Erde entströmenden Kohlensäure, sich an Billigkeit messen, wir werden sehr bald uns noch ausführlich mit ihr zu beschäftigen haben.

Das fertige doppeltkohlensaure Natron wird, nachdem es den Absorptionskammern entnommen ist, bei etwa 40° getrocknet. Viel höher darf man mit der Temperatur nicht gehen, sonst gibt es wieder sein zweites Molekül Kohlensäure ab. Hierauf wird es fein gemahlen und verpackt.

Das Ätznatron oder die kaustische Soda.

Erhitzt man Kalkstein, also kohlensauren Kalk, so zerfällt er doch durch das Brennen in Kohlensäure und in die Base Kalk, erhitzt man aber kohlensaures Natron und ebenso kohlensaures Kali, so erweisen sich beide, wie schon aus der Art ihrer Darstellung hervorgeht, die doch in Flammöfen erfolgt, als feuerbeständig. Diese beiden zerfallen nicht in der Hitze in Säure und Base. Und doch braucht man in vielen Industrien ihre Basen, das Ätznatron und das Ätzkali, deren Gewinnung wir jetzt kennen lernen wollen.

Die Darstellung des Ätznatrons ist heutzutage ganz auf die Sodafabriken übergegangen, während die Seifensieder, die die ältesten Verbraucher für dasselbe sind, worauf wir später zurückkommen, es sich ehemals im Hause bereiteten. Sie lösten zu seiner Herstellung kohlensaures Natron in Wasser und setzten der Lösung Kalkmilch zu. Dann bilden sich in der Flüssigkeit kohlensaurer Kalk, eine im Wasser unlösliche Verbindung, die sich deshalb abscheidet und abfiltriert werden kann, und Ätznatron, das gelöst bleibt.

Soda + Ätzkalk = Ätznatron + kohlensaurer Kalk

$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2\,NaOH + CaCO_3.$$

Die Sodaindustriellen, welche sich mit seiner Fabrikation beschäftigen, stellen nun nicht erst fertige Soda für den Zweck dar und kaustifizieren diese, wie man deren Behandlung mit Kalk nennt, sondern benutzen zu ihrer Herstellung die aus der Sodaschmelze erhaltenen Rohlaugen, indem sie schon die Rohmaterialien, die in den Öfen zum Verschmelzen kommen, etwas anders mischen, um gleich an Ätznatron reiche Lösungen zu erzielen. Sie geben nämlich der Schmelze schon reichlich Ätzkalk zu.

Diese Fabrikation ist von ihnen in den vierziger Jahren aufgenommen worden und hat heute eine kolossale Ausdehnung erreicht. So liefert ein Drehofen zu St. Helens in England wöchentlich 150000 kg Ätznatron, indem man in jener Fabrik Soda gar nicht mehr, sondern nur noch „kaustische Soda" fabriziert.

Die Rohlauge, welche nicht sehr stark hergestellt werden darf, da sonst die Kaustifizierung, d. h. also die Überführung des kohlensauren Natrons in Ätznatron nicht quantitativ verläuft, wird mit gebranntem Kalk versetzt, der in Körben in sie gehängt wird, sich in ihr selbst löscht und zugleich seine Wirkung ausübt. Eingeleiteter Dampf bringt die Lauge ins Sieden, die man hernach durch Absetzen sich klären läßt und vom Kalkschlamm abzieht. Man wäscht diesen möglichst mit Wasser aus, und da er doch aus kohlensaurem Kalk besteht, indem er dem kohlensauren Natron die Kohlensäure entzogen hat, wandert er hernach statt Kreide zurück in die Sodaschmelzöfen und wird so ausgenutzt.

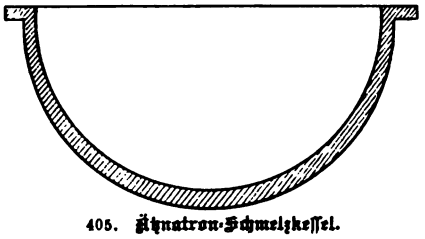
Die erhaltene Lauge muß nun eingedampft werden, was bei ihrer geringen Stärke viel Kohlen kostet. So hat man denn versucht, sie in Dampfkesseln zu konzentrieren, um den Dampf verwerten zu können, doch hat sich das nicht bewährt, und man konzentriert sie jetzt wieder in offenen Gefäßen. Allmählich scheiden sich mit der zunehmenden Konzentration schwer löslich werdende Fremdsalze aus, die ausgesoggt werden, und jetzt hat man scheinbar nur noch nötig, die Lauge vollends abzudampfen, um das Ätznatron zu bekommen. Aber in der Lauge steckt trotz Entfernung vieler Fremdsalze noch ein wenig Schwefelnatrium, gelöstes Schwefeleisen und manches andere, das dem eingedampften Rückstand ein höchst unerfreuliches, bald gelbes, bald grünes u. s. w. Aussehen nicht nur erteilen, sondern das fertige Produkt auch für viele Zwecke unbrauchbar machen würde. Hier beginnt nun erst die eigentliche Schwierigkeit der Fabrikation, deren völlige Überwindung vieljährige Arbeit in Anspruch genommen hat.

Das Herstellen von völlig weißem Ätznatron, das keinen unoxydierten Schwefel mehr enthält, denn im Gegensatz zum Schwefelnatrium hat ein Gehalt an schwefelsaurem Natron wenig zu bedeuten, wird jetzt auf zwei Arten erzielt, entweder man bläst durch die schon ziemlich konzentrierte Lauge Luft als Oxydationsmittel durch, was eine Maschinenanlage erfordert, oder man setzt ihr Salpeter zu. Der Sauerstoffgehalt des Salpeters besorgt dann ebenfalls in der hohen Temperatur die Oxydation, sein Stickstoffgehalt entweicht teils für sich, teils als Ammoniak, und sein Natrongehalt vermehrt die Menge des Ätznatrons.

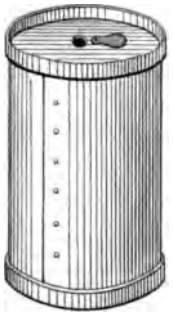
$$2\,NaNO_3 = Na_2O + N_2 + O_5$$

Salpeter (Salpetersaures Natron) = Ätznatron (wasserfrei) + Stickstoff + Sauerstoff

Je stärker die Ätznatronlauge eingedampft wird, um so höher steigt ihr Siedepunkt, der bald über den des Quecksilbers hinausgeht, und um sie fertigzustellen, d. h. so viel Wasser, als möglich ist, zu verdampfen, kommt sie in gewaltige gußeiserne Schmelzkessel, in denen sie schließlich in geradezu feurigen Fluß gerät. Dabei wird sie ganz dünnflüssig, und alle nach der Oxydation noch in ihr vorhandenen Verunreinigungen sinken in der Regel im Laufe von 8—12 Stunden im Kessel zu Boden, so daß die klare, feurig flüssige Masse von ihnen abgeschöpft werden kann. Die Schmelzkessel haben einen oberen Durchmesser von 2—3 m, ihre Tiefe beträgt 1,2—1,7 m und ihre Wandstärke variiert am Boden von 50—75 mm. In ihnen werden immer etwa 10000 kg Ätznatron auf einmal fertiggestellt, und haben sie 60—70 Chargen hinter sich, so sind sie so weit verbrannt, daß sie durch neue ersetzt werden müssen.



405. Ätznatron-Schmelzkessel.



406. Eisentrommel für den Transport des Ätznatrons.

Die völlig klare, im feurigen Fluß befindliche Flüssigkeit wird jetzt ganz allgemein in Eisenfässer, welche Trommelform haben, gefüllt und in diesen versandt. Sobald der Arbeiter beim Ausschöpfen des Kessels trübe Partien mitbekommt, hört er mit dem Füllen auf. Es bleiben etwa 10% vom Ätznatron zurück, die nach dem Erkalten wieder in Wasser gelöst, und deren geklärte Lösung mit der nächsten Portion mitverarbeitet wird.

Die Wiedergewinnung des Schwefels.

Die Leblanc-Sodafabrikation führt das Kochsalz (Chlornatrium) in Soda (kohlensaures Natron) über. Da letzteres schwefelfrei ist, bleibt der gesamte Schwefel, welcher in die Fabrikation eingeht, um das Kochsalz in schwefelsaures Natron zu verwandeln, in den Auslaugerückständen der Sodaschmelzen, wahrscheinlich als Calciumoxydsulfid (s. S. 392), zurück. Ursprünglich hat man darauf nicht viel gegeben, aber die Rückstände machten sich beim Liegen an der Luft sehr unangenehm bemerkbar. Sie geben ihren Schwefel, indem die Kohlensäure der Luft auf sie einzuwirken anfängt, wenn auch nur in geringer Menge so doch in Form von Schwefelwasserstoff aus, und dies Gas verpestet die Gegend auf Meilen. Noch schlimmer aber ist, daß, nachdem der Sauerstoff der Luft längere Zeit auf sie eingewirkt hat, sie teilweise wasserlösliche schwefelhaltige Verbindungen enthalten, die durch Regen ausgelaugt, den Grund und Boden und benachbarte Brunnen und Bäche ruinieren. Das alles zwang bei der zunehmenden Fabrikation zu ihrer Unschädlichmachung. Diejenigen englischen Fabriken, die in der Nähe des Meeres lagen, hielten sich eigene Schiffe, die die Rückstände in dieses hinausfuhren und versenkten. Doch sind das natürlich nur glückliche Ausnahmen.

Wenn man an eine Verarbeitung dieser Rückstände denkt, die irgendwie lohnen soll, so kann es sich nur um die Wiedergewinnung des in ihnen vorhandenen Schwefels

handeln, der Gehalt an diesem mag durchschnittlich 15 % betragen. Wenn es je Versuche gegeben hat, auf die das Denkbarste an Intelligenz in chemischer und technischer Beziehung, zum Teil sogar ohne Rücksicht auf Kosten, verwendet worden ist, so werden für alle Zeiten die gerade zur Lösung dieses Problems unternommenen Arbeiten dazu gerechnet werden müssen.

Das älteste Verfahren ist von Hofmann zu Dieuze ausgearbeitet worden, und er verband es zugleich mit einer Nutzbarmachung der sauren Manganbrühen seiner Fabrik, es ist nur speziell für die besonderen Verhältnisse jener Anlage geeignet gewesen. Dann hat das Schaffnersche Verfahren viel Aufsehen erregt. Oxydiert man Sodarückstände durch Liegen an der Luft, so kann man nachher den größten Teil des ehemals in ihnen unlöslich gewesenen Schwefels in Form von unterschwefligsaurem Kalk und Calciumpolysulfuret durch Wasser ausziehen. Setzt man jetzt zu einer solchen Lauge Salzsäure, so wird nach der sogleich zu gebenden Gleichung der gesamte in ihr vorhandene Schwefel gefällt. Die Fabrikation ist mit sehr großen Schwierigkeiten verknüpft, und seitdem die Salzsäure wertvoll geworden ist, bei dem starken Verbrauch an ihr zur Zersetzung der schwefelhaltigen Laugen unökonomisch. Mond hat dann das Verfahren so abgeändert, daß die Sodarückstände in den Auslaugekästen, nachdem ihnen die Soda entzogen ist, sogleich durch Einblasen von Luft oxydiert werden, also nicht erst herausgenommen und nach einem Monat etwa wieder in Bottiche gebracht zu werden brauchen. Doch eignet sich für dies Verfahren nur englisches Rohmaterial, welches poröser als das des Festlandes ausfällt. Die aus den oxydierten Rückständen extrahierte Lauge wurde wie bei Schaffner durch Salzsäure zersetzt. Die Gleichung, nach der dieses vor sich geht, ist folgende:

Unterschwefligsaurer Kalk + Calciumpolysulfuret + Salzsäure = Chlorcalcium + Wasser + Schwefel

$$CaS_2O_3 + 2\,CaSx + 6\,HCl = 3\,CaCl_2 + 3\,H_2O + 4S + xS.$$

Auch dieses Verfahren ist verlassen worden. Beide gestatten nicht mehr als die Hälfte des in den Rückständen enthaltenen Schwefels wiederzugewinnen.

Sie schienen bei weitem übertroffen durch das Schaffner-Helbigsche Verfahren, welches die Verwendung von Chlormagnesium zu Hilfe nimmt. Chlormagnesium ist aus Staßfurt in jedem Quantum zu beziehen. Bei der Verarbeitung der Kalisalze fällt es dort als Nebenprodukt ab (s. S. 430) und läuft so massenhaft in wässeriger Lösung in die dortigen Flüsse, daß sich sein Chlorgehalt noch im Wasser der Elbe bei Hamburg bemerkbar macht. Es wirkt auf das Schwefelcalcium der Sodarückstände so ein, daß sich Chlorcalcium, Magnesia und Schwefelwasserstoffgas bilden.

Schwefelcalcium + Chlormagnesium + Wasser = Chlorcalcium + Magnesia + Schwefelwasserstoff

$$CaS + MgCl_2 + H_2O = CaCl_2 + MgO + H_2S.$$

Das Schwefelwasserstoffgas wird aus dem geschlossenen Apparate, in welchem die Einwirkung vor sich geht, nach dem Ort seiner Verarbeitung geleitet, wo man es entweder auf Schwefelsäure verarbeitet, zu welchem Zweck man es anzündet und in die Bleikammern leitet, oder aus ihm Schwefel darstellt, worauf wir noch zurückkommen.

Ist alles Schwefelwasserstoffgas entwichen, so leitet man in die Flüssigkeit Kohlensäure, jetzt entsteht aus der Magnesia wieder Chlormagnesium, welches zu neuer Extraktion von Rückständen dient, so daß also das Chlormagnesium in der Fabrikation zirkuliert.

Magnesia + Chlorcalcium + Kohlensäure = Chlormagnesium + Kohlensaurer Kalk

$$MgO + CaCl_2 + CO_2 = MgCl_2 + CaCO_3$$

Der sich abscheidende kohlensaure Kalk geht in die Sodaschmelzen, wo er statt Kreide oder Kalkstein benutzt wird. Man sieht, diese gewiß sehr schöne Methode gestattet nicht nur die Wiedergewinnung des Schwefels, die zu 90 % erfolgen soll, sondern sogar die Wiedergewinnung des Kalksteins, der der Sodaschmelze zugesetzt worden war. Aber auch dieses Verfahren soll in ökonomischer Beziehung auf die Dauer nicht realisierbar gewesen sein.

Die drei beschriebenen Fabrikationsweisen haben es wenigstens zur Ausführung im großen gebracht, jene ungezählten Hunderte von Vorschlägen, von denen es nur ein Teil noch bis zur Patentierung gebracht hat, wollen wir gar nicht erst erwähnen. Sondern wir gehen jetzt zu dem Verfahren von Chance über, der die Frage endgültig und in

genialster Weise für England gelöst hat, während man sich auf dem Festland wegen der mit dem Verfahren verbundenen gewaltigen Anlagekosten zu seiner Einführung bisher nicht entschlossen hat. Wir werden es hier zumeist im Anschluß an die Wagnerschen „Jahresberichte der chemischen Technologie" wiedergeben und wollen zum leichteren Verständnis des Folgenden vorwegnehmen, daß es auf die Gewinnung des Schwefels aus den Sodarückständen mittels dem Kalkofen entnommener Kohlensäure hinausläuft, ein Verfahren, dessen Zweckmäßigkeit, was die Billigkeit der Kohlensäure anbetrifft, wir ja schon kennen.

Das soeben erwähnte Schaffner-Helbigsche Chlormagnesium-Verfahren war von Chance in den Jahren 1882—1883 in England zur wirklichen technischen Brauchbarkeit gebracht worden, was einen Aufwand von etwa 200000 Mark erforderte. Es war ihm gelungen, die Kosten des Verfahrens so weit zu verringern, daß sie einschließlich der Patentgebühr einem Preise von 3 Pence „per Einheit" des Schwefels in der Tonne spanischen Pyrits entsprachen, während der damalige Verkaufspreis dieses Pyrits das doppelte, also 6 Pence per Einheit war, d. h. es wurden z. B. für 48% Schwefel enthaltenden Pyrit 6×48 Pence oder 24 Schillinge für die Tonne bezahlt.

Angesichts dessen setzten im Herbst 1883 die vereinigten Pyritgesellschaften ihren Preis auf die Hälfte herunter und gingen mit den Hauptfabriken mehrjährige Lieferungsverträge zu diesem Preise ein, was selbstverständlich dahin führte, daß niemand mehr die großen Kosten der Einrichtung des neuen Verfahrens auf sich nehmen wollte, woraufhin auch Chance selbst den Betrieb wieder einstellte.

Eine Hauptschwierigkeit hatte darin bestanden, daß die beabsichtigte Gewinnung von Schwefel aus Schwefelwasserstoff durchaus nicht glatt verlaufen wollte. Sie sollte so ausgeführt werden, daß man Schwefelwasserstoff und Luft aufeinander einwirken läßt, wobei sich freier Schwefel und Wasser bilden können. Freier Schwefel ist natürlich viel wertvoller als Schwefel in Form von Pyrit, den allein die Schwefelsäurefabriken brauchen können.

Schwefelwasserstoff	+	Luft	=	Schwefel	+	Wasser
H_2S	+	O	=	S	+	H_2O.

Chance hatte sich damit begnügen müssen, den Schwefelwasserstoff in Form von Schwefelsäure zu Gute zu machen, was ja keine Schwierigkeiten hat, so daß sein Schwefelgehalt also nur dem des Pyritschwefels gleichwertig war. Um Schwefelwasserstoffgas auf Schwefelsäure zu verarbeiten, braucht man es nur anzuzünden, wobei es doch zu schwefliger Säure und Wasserdampf verbrennen muß, welche letzteren man in die Bleikammern leitet.

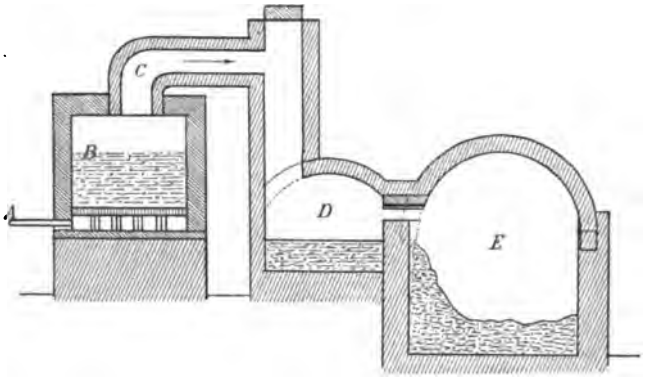
Chance arbeitete aber an der Schwefelwiedergewinnung ununterbrochen fort, und nach weiteren fünf Jahren angestrengtester Thätigkeit kam er zum Ziele. Was Gossage, ein in der Sodaindustrie sehr berühmter Name, zuerst im Jahre 1837 versucht hatte, die direkte Zersetzung von Sodarückständen mit Kohlensäure, Versuche, an denen er nach seinen eigenen Worten dreißig Jahre seines Lebens und ein Vermögen eingebüßt hatte, das führte Chance genau fünfzig Jahre später durch. Ehe ihm dies gelang, arbeitete Chance im Anschluß an ein Patent des deutschen Chemikers Claus vom Jahre 1883 auf Gewinnung von Schwefel aus Schwefelwasserstoff dessen patentiertes Verfahren, das, wie es Claus beschrieben hat, technisch nicht verwertbar war, mit Zustimmung des Patentinhabers zu einem technisch brauchbaren aus.

Nach vielen Versuchen gelang dieses dadurch, daß das Schwefelwasserstoffgas, gemischt mit einer der obigen Zersetzungsgleichung genau entsprechenden Menge Luft, durch ein Rohr A unter den durchbrochenen Rost des kreisrunden Ofens B geleitet wird. Dies Gasgemisch durchzieht eine Lage von Ziegelbrocken und darüber eine Schicht von Eisenoxyd, welches als Kontaktsubstanz die Oxydation des Schwefelwasserstoffs vermittelt. Die bei der Reaktion entwickelte Wärme reicht hin, die Kammer B auf Dunkelrotglut zu halten, eine Temperatur, bei der die Umsetzung fast vollkommen wird. Das nunmehrige Gemenge von Schwefeldampf, Wasserdampf und Stickstoff, der der Luft entstammt, gelangt durch das Rohr C in die gemauerten Kammern D und E. Der sich am Boden der

ersteren sammelnde flüssige Schwefel wird zeitweilig abgelassen, in dem Raum E lagern sich Schwefelblumen ab. Die aus dem Apparat entweichenden Gase werden zur sicheren Entfernung jeder Spur Schwefelwasserstoffs durch einen Reiniger, also etwa feuchtes Eisenoxydhydrat (s. S. 346) geleitet, bevor sie in die Umgebung entweichen.

Da der Erfolg dieses Verfahrens zur Gewinnung von Schwefel aus Schwefelwasserstoff in erster Linie davon abhängt, daß die Menge des Sauerstoffs genau die richtige im Verhältnis zum Schwefelwasserstoff ist, die Prozentigkeit des letzteren, d. h. also der Gehalt des Gases an Schwefelwasserstoff, aber bei Anwendung von unreiner Kohlensäure zur Zersetzung der Sodarückstände außerordentlich schwankt, so kam es vor allem darauf an, die letztere von möglichst konstanter Zusammensetzung zu erhalten, und er gelangte zu dem sehr hohen Gehalt von 28 % kohlensaurem Gas in der aus dem Kalkofen abziehenden Kohlensäure, wenn er in den Ofen abwechselnd Kalkstein und Koks, und zwar im Verhältnis von sieben auf eins, schüttete. Der gebrannte Kalk findet seine Verwendung in der Chlorkalkabteilung der Fabrik, nachdem die Aschenteile aus ihm ausgelesen sind.

Der also für gewöhnlich 28% betragende Gehalt der Kalkofengase an Kohlensäure sinkt nach Stillständen, die z. B. jeden Sonntag statthaben, auf 20% herab. Der Gehalt an ihr ist aber für die sichere Handhabung des Betriebes so wichtig, daß er stündlich einmal quantitativ bestimmt und einmal jeden Tag eine volle Analyse des Gases gemacht wird, um zu wissen, wie viel Sauerstoff, Kohlenoxyd und Stickstoff es neben der Kohlensäure enthält.



407. Ofen zur Schwefelgewinnung aus Schwefelwasserstoff und schwefliger Säure.

Eine Luftsaugemaschine saugt die Gase aus dem Kalkofen, die in Waschvorrichtungen mit Wasser gekühlt werden, und drückt sie mit 3 Atmosphären weiter.

Aber selbst mit einem Gase, das konstant etwa 28 % Kohlensäure enthielt, bekam er bei allen seinen früheren Versuchen zur Zersetzung der Sodarückstände nur Gasgemische mit sehr schwankenden Mengen an Schwefelwasserstoff, d. h. also mit sehr großen Beimengungen anderer Gase, bis es ihm schließlich gelang, die Beimengungen so bedeutend zu verringern und dadurch ein an Schwefelwasserstoff so reiches Gas zu erzielen, daß es nunmehr mit Sicherheit auf Schwefel verarbeitet werden kann.

Man wußte von Laboratoriumsversuchen her lange, daß Kohlensäure auf Schwefelcalcium, um das es sich in den Sodarückständen handelt, in Gegenwart von Wasser in der Art wirkt, daß zuerst Calciumsulfhydrat entsteht,

Schwefelcalcium + Kohlensäure + Wasser = Kohlensaurer Kalk + Calciumsulfhydrat

$$2\,CaS + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + Ca(SH)_2.$$

und daß erst ein Überschuß von Kohlensäure das Sulfhydrat weiter zersetzt und seinen sämtlichen Schwefel als Schwefelwasserstoff austreibt.

Calciumsulfhydrat + Kohlensäure + Wasser = Kohlensaurer Kalk + Schwefelwasserstoff

$$Ca(SH)_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + 2\,H_2S.$$

Zur praktischen Verwertung der in den Gleichungen angegebenen nacheinander verlaufenden Umsetzungen wird der Sodarückstand nach Chance zu einem dünnen Brei angemacht, aus dem man durch Siebe die gröberen Teile entfernt. In diesem Zustande wird er in hohe Cylinder eingeführt, durch die die dem Kalkofen entnommenen Gase gepreßt werden. Eine Batterie von 7 Cylindern, deren jeder 5 m hoch ist und einen Durchmesser von 2 m hat, genügt zur Behandlung des Rückstandes von der wöchentlichen Ver-

arbeitung von 300000 kg Sulfat. Im ersten Cylinder wird die reichlich hineingepreßte Kohlensäure zufolge den obigen Gleichungen Schwefelwasserstoffgas aus den Rückständen entwickeln. Dieses trifft, indem es durch die weiteren Gefäße getrieben wird, auf frische Sodarückstände und wird von diesen unter Bildung von Calciumsulfhydrat absorbiert,

Schwefelcalcium	+	Schwefelwasserstoff	=	Calciumsulfhydrat
CaS	+	H_2S	=	$Ca(SH)_2$

so daß eine Zeit lang die aus dem letzten Apparat strömenden Gase kaum Kohlensäure und auch keinen Schwefelwasserstoff enthalten, also in die Luft gelassen werden können, wobei man sie zur Sicherheit noch durch Eisenoxydhydratreiniger gehen läßt. „Auf diesem Wege wird man also eine bedeutende Menge nutzloser Gase los." Allmählich aber wird durch weitere Einwirkung der Kohlensäure reichlich Schwefelwasserstoff auch aus dem letzten Cylinder entweichen, und wenn dies der Fall ist, leitet man die Gase in einen Gasometer. Sobald sie wieder zu arm an Schwefelwasserstoff werden, schließt man diese Leitung und läßt sie nochmals in den ersten Cylinder eintreten. Dessen Sodarückstände sind in der Zwischenzeit längst durch das große Quantum der durchgeleiteten Kohlensäure völlig entschwefelt und durch frische ersetzt, mit denen nun das Spiel von neuem beginnt. Man läßt z. B. die Gase etwa 2 Stunden in die Luft entweichen und fängt nachher ungefähr ebensolange die an Schwefelwasserstoffgas reichen Gase auf.

Der so entschwefelte Rückstand besteht also hauptsächlich, wie aus den Gleichungen ersichtlich ist, aus kohlensaurem Kalk und kann wieder in die Sodaschmelzen an Stelle von Kreide wandern, er enthält nur noch $^1/_5$ bis höchstens 1% Schwefel, und das über ihm stehende Wasser kann unbedenklich in jeden Fluß laufen gelassen werden.

Das Schwefelwasserstoffgas wird also in einem Gasometer und zwar von 15 m Durchmesser und 4 m Höhe aufgesammelt, welcher etwa 850 cbm faßt. Weil sich Schwefelwasserstoffgas sehr stark in Wasser löst, ist die diesen Gasometer abschließende Flüssigkeit mit einer Schicht Teeröl bedeckt. Das Gas enthält durchschnittlich 32—34% Schwefelwasserstoff und brennt beim Anzünden ohne weiteres. Bei mehrmonatlichem Betriebe zeigte sich, daß so 90% des in den Rückständen enthaltenen Schwefels wiedergewonnen wurden.

Die Kosten des Prozesses sind äußerst gering. Abgesehen von dem zum Pumpen der Kalkofengase erforderlichen Dampf für die Maschine wird kein Brennmaterial gebraucht, und so sollen sich die Selbstkosten des wiedergewonnenen Schwefels an Ort und Stelle auf etwa 8 Schillinge per 1000 kg stellen.

Die Hoffnung des Erfinders Chance, die er im Jahre 1887 aussprach, sind allerdings teilweise zu hochgespannt gewesen. Er nahm damals an, man würde von den Bergbaugesellschaften den Pyritschwefel kupferhaltiger Pyrite umsonst bekommen, und diese würden nach Einführung des Verfahrens froh sein, wenn man ihnen die kupferhaltigen Pyrite umsonst abröstete, damit sie hernach aus ihnen das Kupfer gewinnen könnten. Aus den Sodarückständen, in die dieser Schwefel schließlich übergeht, würde man dann nach seiner mit dem Claussschen Verfahren kombinierten Methode den Schwefel der Pyrite als solchen gewinnen, so daß er als reiner Schwefel verkauft werden könnte, womit die Sodafabriken, die bis zum Jahre 1838 nur mit sizilianischem Schwefel zu existieren vermochten (s. S. 378), vom Jahre 1888 ab die schärfsten Konkurrenten dieses sizilianischen Schwefels werden würden. Nun, diese übermäßigen Hoffnungen sind nicht ganz in Erfüllung gegangen, aber der Großartigkeit des Verfahrens geschieht dadurch kein Abbruch, und die Überwindung aller sich auftürmenden Schwierigkeiten bleibt bewundernswert.

Bemerkt sei, daß eine auf den Newcastle Chemical Works hergerichtete Anlage dieser Art zur Schwefelwiedergewinnung $^1/_2$ Million Mark gekostet hat, wonach man sich von ihrer Größe eine Vorstellung machen kann. 1891 arbeiteten bereits 15 englische Fabriken nach dieser Methode, 1894 wurden nach dem Verfahren 31500 Tonnen Schwefel wiedergewonnen, und das Verfahren war in vielen Einzelheiten noch weit verbessert worden. So ist namentlich das Entweichen des Schwefelwasserstoffs jetzt so vollständig beseitigt, daß sein abscheulicher Geruch trotz der enormen Quantitäten, welche von ihm erzeugt werden, wenig in den Fabriken wahrnehmbar ist.

Man sollte es nun kaum glauben, daß eine sich auf einer derartigen Höhe befindende Riesenindustrie, wie es die Leblanc-Sodafabrikation mit ihren Nebenbetrieben ohne Zweifel ist — sie hat in ihren Glanzzeiten 30000 Arbeiter beschäftigt — plötzlich aus dem Sattel gehoben werden kann, und doch droht ihr seit Beginn der achtziger Jahre die Gefahr des Unterganges und ist ihre Ruhe dahin. Und zwar droht die Gefahr von seiten der sogenannten Ammoniaksoda, die nach dem speziell von Solvay ausgearbeiteten Verfahren dargestellt wird, woher sie auch den Namen Solvay-Soda führt.

Die Ammoniaksodafabrikation.

Von den vielen Methoden, nach denen Erfinder versucht haben, neben der Leblancschen Arbeitsweise eine weitere, womöglich einfachere Art der Sodaherstellung aus Kochsalz im großen durchzuführen, hat nur das Verfahren von Solvay Fuß zu fassen vermocht, ja diese neue Methode tritt also als höchst bedrohlicher Konkurrent jener älteren Fabrikation auf. Es beruht seinerseits auf einer den Chemikern lange bekannten recht einfachen Umsetzung. Wenn man nämlich zu einer Kochsalzlösung eine Lösung von doppeltkohlensaurem Ammoniak setzt, so scheidet sich, ohne daß Erwärmen nötig ist, aus der Lösung sehr reichlich doppeltkohlensaures Natron aus, und erhitzt man dieses, so geht es in einfach kohlensaures Salz, in Soda, über. Letzteres wissen wir schon von S. 409 her.

Kochsalz + Doppeltkohlensaures Ammoniak = Doppeltkohlensaures Natron + Chlorammonium

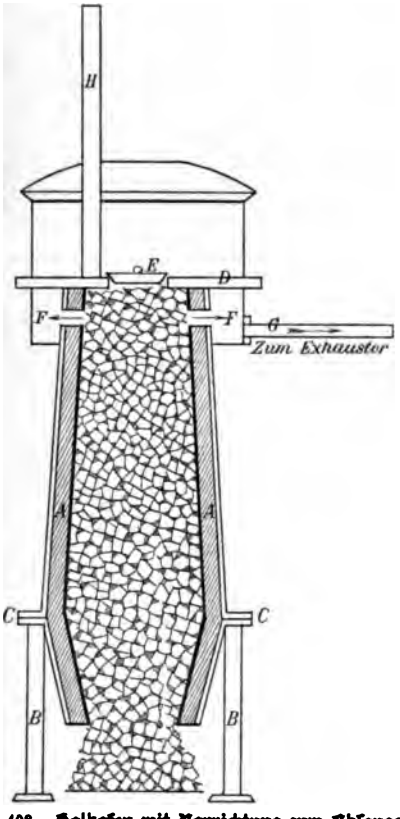
$$NaCl + (NH_4)HCO_3 = NaHCO_3 + NH_4Cl.$$

Kurzum ein Verfahren, dessen Einfachheit nichts zu wünschen übrig zu lassen scheint. Da braucht man keine Schwefelsäurefabrikation, da gibt es keine Schmelzöfen, die lästige Salzsäure kommt nicht vor, da ist kein Schwefel aus Rückständen wiederzugewinnen u. s. w.

Zuerst ließen sich auf dieses Verfahren Dyar und Hemming im Jahre 1838 ein englisches Patent geben. Obgleich sehr viele Fabrikanten, da die Sache so einfach aussieht, sowohl in England, Deutschland wie Frankreich sich seitdem viel Mühe um die Sache gaben, kam nichts Erfolgreiches zustande. In jener Zeit war auch Ammoniak noch sehr teuer, was ein wunder Punkt der Methode gewesen sein wird. Heute liefern die Gasanstalten, wie wir bei deren Beschreibung ausführlicher besprechen werden, jedes gewünschte Quantum desselben zu billigem Preise. Doch geriet das Verfahren nicht mehr in Vergessenheit, und die Patentlitteratur der verschiedenen Länder zeigt fortwährend neu unternommene Versuche in der Richtung. Man weiß auch, daß eine französische Fabrik Ende der fünfziger Jahre einige hundert Tonnen Soda auf diesem Wege darstellte, dann aber die Sache wieder aufgab. Zum wirklichen Erfolg brachte es also erst Solvay.

Wenn das Schicksal dem großen Erfinder Leblanc die Früchte seines Schaffens und die Anerkennung seiner Zeitgenossen versagte (s. S. 400), so ist es Ernst Solvay, einem Belgier von Geburt, günstiger gewesen. Als Sohn vermögender Eltern konnte er seiner Erfindung, nachdem er die Idee derselben erfaßt hatte, seine ganze Kraft widmen. Leicht ist es ihm allerdings auch nicht geworden, denn seine Versuche hatten, bis sich der Erfolg einstellte, den größten Teil seines Vermögens bereits verschlungen. Dazu kam anderseits als sehr glücklicher Umstand, daß ihn sein Bruder Alfred auf das beste zu unterstützen vermochte, indem er sich für die finanzielle Leitung der Unternehmungen besonders eignete. Ernst Solvay bemühte sich, als er noch Direktor einer Gasanstalt war, für das bei der Destillation der Steinkohlen nebenbei erhaltene Ammoniak neue Absatzquellen zu finden. Im Laufe seiner Untersuchungen entdeckte er, unbekannt mit den Arbeiten früherer Forscher auf gleichem Gebiete, die grundlegende Reaktion des Ammoniaksodaverfahrens, auf welche er behufs industrieller Verwertung 1861 ein Patent nahm. In der richtigen Voraussicht, daß die Ingenieurwissenschaften in der chemischen Industrie eines Tages eine hervorragende Rolle spielen würden, legte Solvay von vornherein ein Hauptgewicht auf Nutzbarmachung der Apparatentechnik für seinen Sodaprozeß. Die zahlreichen von ihm genommenen Patente zeigen klar, daß Solvay selbst alle Einzelheiten des nach ihm benannten Verfahrens geschaffen hat. Erst Solvay hat das Problem gelöst, an dem sich alle seine Vorgänger vergeblich abgemüht hatten.

Hinsichtlich des Ammoniaks sei hier teilweise in Wiederholung als für das Verständnis des Prozesses unbedingt erforderlich bemerkt: Ammoniak ist ein Gas gerade so wie die Kohlensäure oder die Salzsäure, und gerade so wie letztere im Wasser außerordentlich löslich. Seine wässrige Lösung ist unter dem Namen Salmiakgeist im Handel und wird vom großen Publikum hauptsächlich als Fleckwasser geschätzt. Man gebraucht die Ausdrücke Ammoniak und Salzsäure in der Chemie bald für das Gas bald für ihre wässrige Lösung; was gemeint ist, ergibt sich aber stets aus dem Zusammenhange, und nur wo Zweifel eintreten könnten, spricht man vom Ammoniakgas, Salzsäuregas. Das Ammoniak ist eine Base, verbindet sich daher mit Kohlensäure z. B. zu kohlensaurem Ammoniak, mit der doppelten Menge von ihr zu doppeltkohlensaurem Ammoniak, auch Ammoniumbikarbonat genannt, gerade so wie das doppeltkohlensaure Natron auch als Natriumbikarbonat bezeichnet wird.



408. Kalkofen mit Vorrichtung zum Absaugen der Kohlensäure.

Im Jahre 1863 wurde die Gesellschaft Solvay & Co. gegründet, und die zu Couillet gelegene erste Fabrik der Gesellschaft 1864 in Betrieb gesetzt. Die Tagesproduktion betrug kaum einige hundert Kilogramm Soda. Im Jahre 1865 erschien die Lage der Gesellschaft so kritisch, daß man von ihrer Liquidation sprach. Im Jahre 1869 schuf Solvay die Karbonisier-Kolonne, von deren Erfindung der große Aufschwung dieser Fabrikation datiert. Die Gesellschaft baute hierauf die großen Anlagen zu Dombasle bei Nancy, Wyhlen, Bernburg und Saaralben. In England baute Mond die große Fabrik zu Northwich, und im Laufe der Jahre sind jetzt solche Fabriken in allen Industriestaaten der Welt entstanden. Während 1868 nur 500 t Soda fabriziert wurden, waren es im Jahre 1878 schon 29000 t und 1888 bereits 350000 t, welche fast zur Deckung der Hälfte des gesamten Sodaverbrauchs auf der Erde ausreichten. Die Fabriken zu Dombasle und Northwich waren bis dahin schon die größten Sodafabriken der Welt geworden.

Die fabrikmäßige Überführung von Kochsalz in Soda nach Solvay erfordert folgende Operationen:

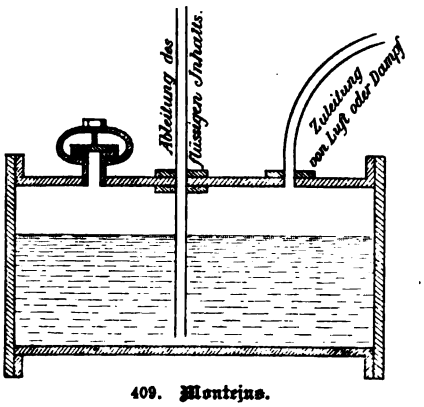
1. Das Brennen von Kalkstein in einem zum Auffangen der aus ihm abziehenden Kohlensäure geeigneten Ofen,
2. Herstellung einer Kochsalzlösung,
3. Einleiten von Ammoniakgas in dieselbe,
4. Einleiten von Kohlensäure in die ammoniakalische Salzlösung,
5. Trennung des entstandenen Bikarbonats von der Mutterlauge,
6. Überführung des Bikarbonats in Soda,
7. Wiedergewinnung des Ammoniaks aus den Mutterlaugen.

Der Ofen zum Brennen des Kalksteins hat etwa die beistehend abgebildete Form. Er hat die Gestalt eines Doppelkegels, dessen beide Kegel mit der Basis aneinander stoßen, ist aus schmiedeeisernen Platten zusammengesetzt und von innen zum Schutze gegen das Verbrennen dieser mit Schamotteziegeln A ausgemauert. Er ruht auf eisernen Säulen B, auf denen er vermittelst der Flantschen C aufliegt. Der Ofen selbst ragt in einen Überbau hinein, der ihn völlig abschließt. Er ist seinerseits innerhalb desselben durch die Eisenplatte D abgeschlossen. In der Mitte dieser Platte befindet sich eine mit einem Deckel verschließbare Öffnung E, durch welche der Kalkstein und das Brennmaterial, die Koks, eingeworfen werden. Unterhalb der Platte D befinden sich rund herum eine Anzahl von

Löchern F, aus denen die Ofengase entweichen, welche durch G abgesogen und ihrem Bestimmungsorte zugeführt werden. Um nicht etwa Luft mitzusaugen, brennt man stets einen großen Überschuß von Kalkstein, d. h. also, man macht den Kalkofen größer als für die Fabrikation an Soda eigentlich nötig ist. Weil infolgedessen Kohlensäure in einer größeren Menge, als der Exhaustor absaugt, vorhanden ist, ist, damit dieser Überschuß ins Freie entweichen kann, der Schornstein H angebracht.

Auch diese Öfen liefern wie die englischen im Chanceschen Verfahren der Schwefelwiedergewinnung (S. 413) erwähnten, durchschnittlich Gase mit etwa 30 % Kohlensäuregehalt. Jene sollen an Heizmaterial nur 15 % vom Gewicht des Kalksteins an Koks brauchen, während man in Deutschland etwa 20 % rechnet. Infolge ihrer einfachen Einrichtungen halten sie oft mehrere Jahre ohne Reparaturen.

Als Kochsalzlösung benutzt man, wenn es angänglich ist, eine natürliche oder künstlich hergestellte Salzsole (s. S. 359). So geschieht es z. B. in den Fabriken zu Dombasle und zu Northwich. In ersterer soll sich der Preis für 1000 kg Kochsalz daher nur auf $1\frac{1}{2}$ Mark, in letzterer gar nur auf $\frac{1}{2}$ Mark stellen. Wo man Sole nicht zur Verfügung hat, löst man Steinsalz durch Übergießen mit Wasser auf. Man benutzt dazu Apparate ähnlich denen von Shanks, die wir S. 393 als Auslaugeapparate kennen lernten, und kommt so zu starken Salzlösungen. Steinsalz enthält nun oft geringe Mengen von löslichen Kalk- und Magnesiasalzen, die später beim Einleiten von Kohlensäure als kohlensaurer Kalk oder kohlensaure Magnesia ausfallen und zu sehr störenden Verstopfungen in den Rohrleitungen der Apparate führen würden. Deshalb setzt man der Salzlösung in den Auflösebottichen etwas kohlensaures Ammoniak zu, resp. man benutzt statt Wasser als Lösungsmittel ammoniakhaltige Waschwässer aus dem Fabrikbetriebe und macht die letzteren auf diesem Wege gleich zu Gute. Indem nun schon in den Auslaugegefäßen hierdurch die Kalk- und Magnesiaverbindungen als Karbonate gefällt werden, und über den falschen Boden dieser Gefäße Filtriertücher gespannt sind, auf denen die ausgefällten Substanzen liegen bleiben, läuft aus ihnen eine von den störenden Verunreinigungen freie, vollkommen klare Kochsalzlösung ab. Diese enthält durchschnittlich weniger als 1 % Ammoniak und etwa 290—300 g Kochsalz im Liter. Sie muß nun mit Ammoniakgas gesättigt werden. Da aber eine mit Ammoniakgas gesättigte Flüssigkeit nicht so viel Kochsalz zu lösen vermag, wie hier als Gehalt der Flüssigkeit angegeben ist, so würde bei seinem Einleiten in diese Lauge Kochsalz ausfallen, was sehr störend wäre, wenn nicht das im Betriebe immer wiedergewonnene Ammoniakgas (s. weiterhin), welches in sie eingeleitet wird, sehr mit Wasserdämpfen beladen wäre, wodurch die nötige Verdünnung der Flüssigkeit von selbst eintritt.



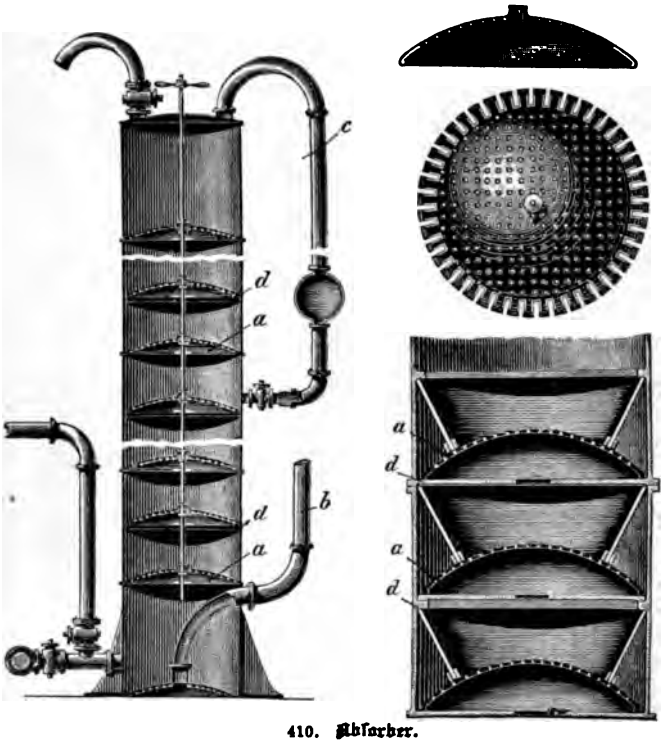
409. Montejus.

Um die Sättigung mit dem Ammoniakgas herbeizuführen, läßt man die Flüssigkeit von oben her in einen hohen Kolonnenapparat treten, in den von unten her das Ammoniakgas eintritt. Ja, durch das mit dem Ammoniakgas mitgekommene Wasser ist die Lauge schließlich so verdünnt, daß sie wieder etwas Kochsalz lösen kann, und so läßt man sie neuerdings über Kochsalz rieseln, um sie mit ihm wiederum zu sättigen.

Nachdem die Flüssigkeit so zum Einleiten der Kohlensäure fertig gemacht ist, sammelt man sie in sogenannten Montejus, von denen aus man sie hernach weiter drückt. Ein Montejus ist ein geschlossener Kessel, der so stark gebaut ist, daß er Druck aushalten kann. Preßt man auf die in ihm befindliche Flüssigkeit Luft, so wird sie durch eine Rohrleitung, die bis auf seinen Boden reicht, hinausgedrückt werden. Die Montejus spielen eine große Rolle in der chemischen Industrie, weil sie in vielen Fällen das Verpumpen der Laugen ersparen, was namentlich bei Metalle angreifenden Flüssigkeiten sehr in Betracht kommt.

Wir kommen nun zur Herstellung des Natriumbikarbonats durch Einleiten von Kohlensäure in diese Flüssigkeit, also zum wichtigsten Teil der Fabrikation. Durch das reichliche Einleiten der Kohlensäure in diese ammoniakhaltige Salzlösung bildet sich doppeltkohlensaures Ammoniak in ihr, welches sich mit dem Kochsalz (Chlornatrium) momentan zu doppeltkohlensaurem Natron und Chlorammonium umsetzt. Solvay soll dieselbe eine Zeitlang in dem beistehend abgebildeten Apparate vorgenommen haben. Ob das noch geschieht, weiß man nicht, denn manche Fabrikanten behaupten, daß der Apparat zu kompliziert sei und Verstopfungen durch das sich im Prozeß jetzt ausscheidende Natriumbikarbonat nicht ausgeschlossen seien.

Man bezeichnet diesen oder an seine Stelle getretene Apparate als Absorber. Der abgebildete ist ein 10—16 m hohes cylindrisches Gefäß aus Eisenblech, also ein Turm zufolge der usuellen Bezeichnung der chemischen Industrie, in welchem eine größere Anzahl Eisenplatten a liegen, die mit feinen Durchbohrungen versehen sind. Durch diese wird die von unten in den Absorber tretende Kohlensäure gezwungen, sich gründlich mit der von oben in den Absorber eingelassenen ammoniakalischen Kochsalzlösung zu mischen, indem man hierdurch eine möglichst vollkommene Umsetzung der Substanzen untereinander zu erzielen sucht. Die Absorber erwärmen sich infolge der in ihnen vorgehenden chemischen Reaktion. Übersteigt die Temperaturzunahme das erlaubte Maß, so läßt man sie von außen mit Wasser berieseln, wodurch eine genügende Kühlung erzielt wird.



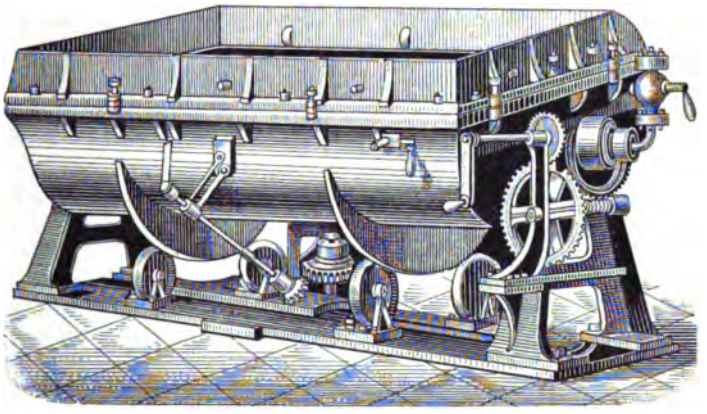
410. Absorber.

Die Einleitung der Kohlensäure erfolgt durch das Rohr b, während die Zuleitung der Lauge durch c erfolgt. In der unteren Hälfte des Turmes sättigt sich also die Lauge völlig mit Kohlensäure, während man die obere Hälfte immer wieder frisch vermittelst der Rohrleitung c zu füllen vermag. Nach jeder halben Stunde etwa zieht man den halben Inhalt des Turmes als fertig ab, während die obere Hälfte, die noch nicht gesättigt ist, jetzt die untere wird, worauf neu zufließende Lauge ihn wieder füllt. Damit sich nun die frisch zugelassene und die gesättigte resp. die halbgesättigte Lauge nicht miteinander mischen, sind die Platten d angebracht, die nur ganz wenige Löcher enthalten, welche wohl dem Gase und der gesättigten Lösung den Durchgang gestatten, aber die Mischung von im Cylinder in verschiedener Höhenlage stehenden Flüssigkeiten so gut wie ganz ausschließen. Wie man sieht, ist der Betrieb in diesen Absorbern, so geistreich auch ihre Einrichtung ist, kein kontinuierlicher, da jede halbe Stunde Unterbrechungen eintreten.

In manchen Fabriken benutzt man deshalb mehrere Absorber, die passend hintereinander geschaltet werden. Sie bestehen ein jeder aus einem Cylinder, in welchen einige mit Löchern versehene Siebböden eingesetzt sind, die dafür sorgen, daß die von unten her eintretende Kohlensäure sich mit der ammoniakalischen Salzsole gut mischt. Jeder

von ihnen hat eine Einlaßöffnung für die Kohlensäure und eine zweite, durch welche die schließlich nach Sättigung der Flüssigkeit im Überschuß eingeleitete Kohlensäure einem zweiten ganz gleich konstruierten Absorber zugeleitet wird. Außerdem hat er einen Einlauf für die Lauge und kann vom Boden her entleert werden. Durch diese Montierung ist es möglich, mit drei derartigen Cylindern so zu arbeiten, daß, nachdem der erste gesättigt ist, die Kohlensäure sogleich in den zweiten geleitet werden kann, worauf der erste entleert und mit frischer Lauge beschickt wird. Ist dieses geschehen, so wird er als dritter in die Reihe geschaltet, und so geht der Betrieb ununterbrochen fort. Man hält die Temperatur in diesen Apparaten auf etwa 40°, wird sie niedriger, so scheidet sich das Bikarbonat so fein aus, daß es hernach kaum abfiltriert werden kann.

Der aus dem letzten Absorber entweichende Stickstoff aus der Luft, welcher vom Kalkofen her mit durch das System getrieben worden war, nimmt etwas Ammoniakgas mit. Der Kohlensäuregehalt dieser Gase soll doch in den Absorbern völlig zur Bildung von Bikarbonat verbraucht sein, und Sauerstoff soll nicht vorhanden sein, weil dieser im Kalkofen die Koks zu Kohlensäure verbrannt hat. Um dieses mitgerissene Ammoniak nicht zu verlieren, leitet man den Stickstoff, bevor man ihn wieder ins Freie entweichen läßt, durch die Kochsalzlösung, welche in den Betrieb eintreten soll. Sein Ammoniakgehalt wird hier absorbiert, und schlägt zugleich die Kalk- und Magnesiaverbindungen aus ihr nieder, ein Vorgang, dessen Wichtigkeit wir eingangsauseinandersetzten.



411. Nutschapparat.

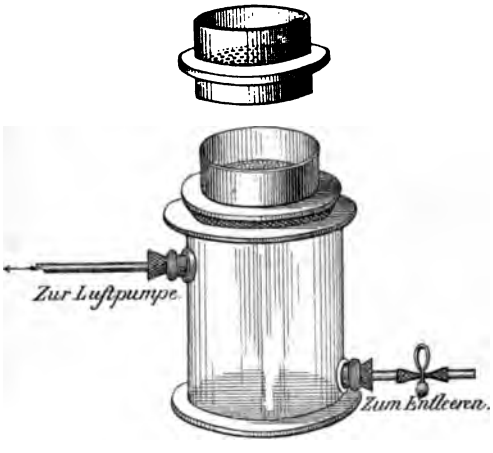
Auf das Quantum des Kochsalzes, welches im Absorber wirklich zu Natriumbikarbonat umgesetzt wird, ist die Menge des gelösten Salzes und des gelösten Ammoniaks von größtem Einfluß. Bei einer Lösung von 34 g Ammoniak und 296 g Kochsalz im Liter ergab sich eine Umwandlung von nur 33% des Kochsalzes in Natriumbikarbonat, als die Lösung aber 63 g Ammoniak und 274 g Kochsalz enthielt, wurden 63% umgesetzt. In der Praxis werden zumeist Lösungen mit etwa 65 g Ammoniak und 270 g Kochsalz benutzt, und wird dort durchschnittlich 50—60% des in den Betrieb eingehenden Kochsalzes als Soda wiedergewonnen, während 40—50% verloren gehen.

Das Trennen des Bikarbonates von der Mutterlauge erfolgt zumeist mit Hilfe von Nutschapparaten, indem sich Zentrifugen hierzu weniger eignen, weil während des Ausschleuderns in diesen Ammoniak verloren geht. Eine Nutsche ist so eingerichtet, daß das auf dem Filtriertuch liegende Material mit einem Raume in Verbindung steht, aus dem man die Luft aussaugt; natürlich treibt dann der äußere Luftdruck die dem Material, welches filtriert werden soll, anhängende Flüssigkeit mit großer Kraft in den unteren Raum (s. S. 322), wie man das sehr gut an den in Laboratorien gebräuchlichen Nutschapparaten sieht. Ihr oberer Teil, der gesondert abgebildet ist, sitzt mittels eines Gummiringes luftdicht auf dem unteren auf. Durch nochmaliges Aufgießen von Wasser auf das Bikarbonat entfernt man möglichst die letzten Reste von anhängenden Ammoniaksalzen aus dem Bikarbonat. Man pflegt etwa 10—12%, auf die ursprüngliche Lauge gerechnet, an Waschwasser zu brauchen.

Jetzt hat die Umwandlung des Bikarbonats in Monokarbonat, des doppeltkohlensauren Natrons in Soda zu erfolgen. Dies wird stets durch Calcination in einem Flamm-

ofen ausgeführt, d. h. man erhitzt ersteres so lange, bis sein zweites Molekül Kohlensäure ausgetrieben ist. Es war das bis zum Beginn der neunziger Jahre eine ziemlich unbequeme Arbeit, die Anlaß zu sehr viel Ärger gab, zumal wenn die Kohlensäure, die doch das Bikarbonat bei seiner Calcination in Massen hergibt, wiedergewonnen oder nutzbar gemacht werden sollte. Seitdem sind aber die Thelen-Pfannen allgemein in Gebrauch gekommen, die die Arbeit zu einer sehr leichten machen. Es sind das nach ihrem Erfinder genannte große, aus gußeisernen Platten zusammengesetzte, flache geschlossene Reservoire, die etwa $2\frac{1}{2}$ m breit und 10 m lang sind. Sie sind so in einen Flammofen eingebaut, daß sie die Flamme möglichst allseitig umspielt. Etwas Ähnliches ist uns in der Konstruktion der neueren Sulfatöfen bereits begegnet (siehe die Abbildung S. 390). Hier wie dort wird auf diese Art ein Vermischen der aus dem Apparate austretenden Gase (dort salzsaures Gas, hier kohlensaures Gas) mit den Feuergasen vermieden.

Dazu kommt hier, daß sich im Inneren der Pfanne ein Rührwerk befindet, welches das Bikarbonat selbstthätig vom kältesten Teil, an welchem es eintritt, allmählich nach dem heißesten des Ofens hinschiebt, wobei es unterwegs seine Kohlensäure abgibt. Ist dieser Punkt erreicht, also das Bikarbonat in Soda verwandelt, so wirft das Rührwerk die Soda selbstthätig aus der Pfanne heraus. Die aus ihr entweichenden Gase enthalten etwa 80 % Kohlensäure, sind also sehr reich an ihr und eignen sich vorzüglich zum schließlichen völligen Sättigen der Absorber. Eine Pfanne liefert etwa 8000—10000 kg Soda in 24 Stunden.



412. Nutschapparat für Laboratorien.

Da die aus ihr kommende Soda stark zusammengebacken ist, muß sie noch eine Mühle passieren, um fertige Handelsware zu sein. Sie ist also wasserfrei, ist calcinierte Soda.

Soll sie in Krystallsoda verwandelt werden, so muß man bei der Krystallisation einen Kunstgriff anwenden. Löst man sie nämlich im Wasser zu einer so konzentrierten Lösung, daß sie hernach wieder auskrystallisiert, so erhält man sie in Nadeln statt in jenen derben Krystallen, wie sie die Leblancsodafabrikanten liefern, an welche das Publikum gewöhnt ist. Setzt man aber ihrer Lösung $2\frac{1}{2}$ % schwefelsaures Natron, also Glaubersalz zu, so krystallisiert auch sie in den gewünschten großen, harten Krystallen aus.

Wir kommen nunmehr zur Wiedergewinnung des Ammoniaks aus der Mutterlauge vom Bikarbonat, denn in dieser ist doch alles in die Fabrikation eingeführte Ammoniak teils als Ammoniumkarbonat teils als Chlorammonium vorhanden. Kalk ist, wie wir wissen, die stärkste Base. Setzen wir also zur Lauge gelöschten Kalk, so wird sich dieser der Kohlensäure und der Salzsäure bemächtigen, und das Ammoniak als schwächere Base wird, wenn man die Lauge kocht, gasförmig ausgetrieben werden.

Kohlensaures Ammoniak + Kalk = Kohlensaurer Kalk + Ammoniak + Wasser

$$(NH_4)_2CO_3 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + 2NH_3 + 2H_2O,$$

Chlorammonium + Kalk = Chlorcalcium + Ammoniak + Wasser

$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 = CaCl_2 + 2NH_3 + 2H_2O.$$

Man führt diese Wiedergewinnung jetzt zumeist so aus, daß man die Mutterlauge in Cylinder bringt, welche die äußere Form der Absorber haben, aber größer als diese sind, um der Kalkmilch Platz zu bieten. Durch direkt in sie geleiteten Dampf bringt man ihren Inhalt ins Kochen, das man bis zum völligen Austreiben des Ammoniaks fortsetzt. Dieses so wiedergewonnene Ammoniakgas wird direkt in die Kochsalzlösungen geleitet, die hernach im Absorber mit Kohlensäure behandelt werden. Da aber das so hergestellte Ammoniakgas vom direkten Dampfeinleiten her sehr reich an Wasserdampf und sehr warm

ist, läßt man es, bevor es in die Lauge tritt, einen Kühler passieren, in dem es den größten Teil seines Wassers absetzt und seine Wärme abgibt.

Zum Sättigen eines Absorbers mit Kohlensäure braucht man durchschnittlich 12 bis 20 Stunden, und das Austreiben des Ammoniaks aus den Mutterlaugen, um es wiederzugewinnen, pflegt 10—16 Stunden zu erfordern. Man rechnet jetzt, daß auf 100 kg fertiggestellte Soda $^1/_2$ kg Ammoniak, ja selbst noch weniger verloren geht, was für eine große Vollkommenheit des Betriebes spricht.

Die durch das Auskochen mit Kalk erhaltenen Laugen stellen also die Endlaugen dieser Fabrikation dar, sie entsprechen so zu sagen den Sodarückständen der Leblancfabrikation. Während die Wiedergewinnung des Schwefels aus diesen durch Chance gelöst ist, ist eine lohnende Verwertung dieser Endlaugen bisher trotz unendlicher darauf verwendeter Mühe nicht gelungen.

Sie enthalten im Liter etwa 150 g feste Salze, und zwar ungefähr zur Hälfte Kochsalz, zur Hälfte Chlorcalcium, welches letztere aus dem Chlorammonium beim Kochen mit dem Ätzkalk sich gebildet hat, wie wir aus der Gleichung ersahen.

Zur Zeit läßt man diese Endlaugen fortlaufen, und damit geht all das Chlor, welches als Kochsalz in die Fabrik eintritt, unausgenutzt wieder aus ihr hinaus, und nur das Natrium aus dem Kochsalz gelangt als Soda zur Verwertung. Das ist nun der Punkt, dem die Leblancsodaindustrie ihre Existenzmöglichkeit neben der Ammoniaksoda verdankt. Sie ist Lieferantin für die großen Quantitäten Salzsäure, welche, wie wir oben gesehen haben, heutzutage gebraucht werden, sie liefert den Chlorkalk, das chlorsaure Kali u. s. w., und diese Gebiete kann ihr das Solvayverfahren nicht streitig machen. So erklärt sich der eingangs erwähnte merkwürdige Umschwung in jener Industrie, daß das, was zu Anfang des Jahrhunderts ihr Fluch schien, die gasförmige Salzsäure, jetzt zu Ende des Jahrhunderts ihr wertvollstes Produkt ist. Soda an sich kann man nach Leblanc gar nicht so billig herstellen wie nach Solvay, nur durch ihre Nebenfabrikationen also bleibt die ältere Methode existenzfähig, wenn sie es auch wahrlich nicht leicht hat. Sollte die Aufgabe gelöst werden, an der Solvay und ungezählte andere sich abmühen, aus den jetzt wertlosen Endlaugen, den Chlorcalciumlaugen, das Chlor in den Ammoniaksodafabriken als solches oder in Form von Salzsäure ebenfalls billig zu gewinnen, dann wäre wohl das Ende der Leblancindustrie gekommen.

Wir wollen nunmehr auch an der Hand von Zahlen ein wenig verfolgen, wie sich die Verhältnisse fortwährend verschoben haben und verschieben. Es ist sicher ein sehr merkwürdiges Schauspiel, wie hier von zwei Seiten mit Aufbietung aller Leistungsfähigkeit des menschlichen Geistes die Verbesserung dieser Verfahren erstrebt wird, die das gleiche Endprodukt herzustellen bemüht sind.

Die Philosophie macht es sich bequem, die dekretiert: Jede ehrliche Arbeit findet ihren Lohn; hier sehen wir, wie eine ehrliche Arbeit einer anderen ebenso ehrlichen den Boden abgräbt, wie das eben immer geht, wenn Besseres an die Stelle des Guten tritt. Und was wir bisher noch gar nicht erwähnten, es gibt sogar einen dritten Konkurrenten auf diesem Gebiete, der, wenn er auch noch in der Wiege liegt, sich vielleicht mit den Jahren zum Riesen auswächst, der beide Verfahren besiegt. Diese Konkurrenz besteht in der Möglichkeit, die meisten von Sodafabriken hergestellten Chemikalien auf ganz anderem Wege, nämlich mittels Elektrizität, die doch in der neuesten Zeit so billig geworden ist, zu gewinnen. Empedokles, einer der ältesten Philosophen, die ein das Ganze umfassendes System aufgestellt haben, kommt schließlich zur Anschauung, πάντα ῥεῖ „Alles fließt.“ Wenn diese Gesamtanschauung hinsichtlich aller Verhältnisse in der Welt auch auf einem Untergebiete zutrifft, so ist es die chemische Industrie. Sie stürmt noch in voller Jugendkraft vorwärts. Was heute vorzüglich erscheint, ist nach einigen Monaten vielleicht veraltet, und so gehört ein ungeheurer Fleiß seitens der in ihr Thätigen dazu, um stets auf der Höhe der Zeit zu bleiben, und so erklären sich die Schwierigkeiten, mit denen viele chemische Fabriken kämpfen.

Im Jahre 1873 hatte die Produktion an Soda in Deutschland 58000 t betragen, 1886 war sie auf 140000 t gestiegen. An diesem Wachstum hatte die inzwischen ein-

geführte Herstellung von Solvaysoda den Hauptanteil, denn sie lieferte in diesem Jahre bereits 44 % aller in Deutschland erzeugten Soda. Eines war zu der Zeit bereits erreicht, die ehemalige Einfuhr von Soda aus England hatte so gut wie ganz aufgehört. Während ein Teil der deutschen Leblancsodafabriken infolge günstiger Lage hinsichtlich des Rohmaterials und guter Verwertung der Nebenprodukte noch prosperierte, arbeiteten andere bereits mit Verlust und sind seitdem eingegangen. Die nun folgenden fünf Jahre waren für diese Industrien Jahre der größten Unsicherheit infolge der schweren Krisis, welche durch die unmäßige Ausdehnung der Ammoniaksodafabrikation in England und Deutschland entstanden war. Neben diesen beiden kamen zu der Zeit die übrigen Länder verhältnismäßig wenig in Betracht. Unter solchen Verhältnissen entschlossen sich die englischen Leblanc-Sodafabrikanten, behufs Verbesserung der Verkaufskonjunkturen eine Vereinigung zustandezubringen, und traten fast alle zu einer großen Gesellschaft zusammen. Die Aktiengesellschaft United Alkali Kompany Limited wurde mit einem Kapital von 120 Millionen Mark ausgestattet, und hiernach kann man sich einen Begriff von der Größe der englischen Sodaindustrie machen, die selbst zur Zeit ihres Niederganges noch solche Summen repräsentierte. Sie umfaßte den größten Teil der 133 Fabriken dieser Branche, die in England, Schottland und Wales zu der Zeit noch im Betriebe waren. Zu welcher Blüte die Ammoniaksodaindustrie es aber inzwischen in England gebracht hat, geht daraus hervor, daß die schon erwähnte Fabrik zu Northwich im Jahre 1891 50 %, 1892 100 % und 1893 30 % Dividende an ihre Aktionäre verteilte. Also auch letztere fing aber schließlich an unter der Krisis zu leiden. Um den fortdauernd fallenden Preisen der Soda entgegentreten zu können, traten dann zuerst in England entsprechende Abmachungen zwischen den Leblanc- und Ammoniaksodafabrikanten ein, und in den Ländern des Festlandes, in Frankreich, Deutschland und Österreich, traten sie ebenfalls zu sogenannten Syndikaten zusammen.

Im Jahre 1893 war die Anzahl der englischen Leblancsodafabriken auf 117 zurückgegangen, und damit steht im Einklang, daß sich die Totalproduktion an Soda etwas verminderte, womit endlich der Überproduktion ein wenig abgeholfen wurde. Im Jahre 1890 waren im Leblanc- und Ammoniaksoda-Prozeß zusammen in England noch 855000 t Salz verarbeitet worden, während 1893 die Menge nur noch 817000 t betrug. Was den Kampf zwischen dem Leblanc- und Ammoniaksoda-Verfahren anbetrifft, so eroberte sich das letztere immer weiteren Boden, und es war sehr beachtenswert, daß in diesen Jahren das Leblanc-Verfahren trotz der vervollkommneten Wiedergewinnung des Schwefels seine alte Stellung nicht mehr so gut verteidigen konnte, wie bis dahin, indem es schneller zurückging, als der Solvayprozeß vorrückte. Folgende kleine Tabelle legt diese Beziehungen klar. Es wurden nämlich an Salz verarbeitet:

Jahr	im Leblanc-Prozeß	im Solvay-Prozeß
1890	602 769 t	252 260 t
1891	567 863 „	278 528 „
1892	519 593 „	304 897 „
1893	467 562 „	349 609 „

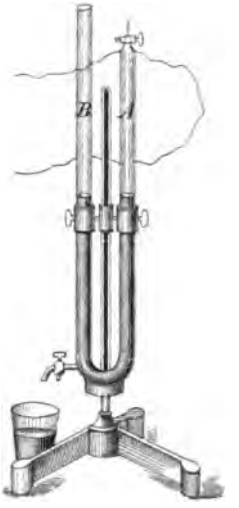
Das in Deutschland gegründete Syndikat hat es verstanden, die Preise seitdem in lohnender Höhe zu erhalten. Es hatte zwar in hohem Maße den Unwillen seiner großen Konsumenten erregt, welche hofften, daß sich bald neue außerhalb der Konvention stehende Fabriken aufthun würden, was aber bisher kaum der Fall war. Der Preis der Soda, der Ende der achtziger Jahre 7 Mark per 100 kg betrug, ist seitdem auf 12 Mark erhöht worden.

Es ist ja nicht zu leugnen, daß durch die Erhöhung der Sodapreise besonders diejenigen Industrien hart betroffen worden sind, bei denen der Wert der Soda einen relativ großen Teil des Fabrikatwertes ausmacht. Hierher gehören z. B. die Fabriken sonstiger technischer Natronsalze, Seifenfabriken, Glashütten, Natroncelluloſefabriken u. s. w., aber schließlich kann man doch den Sodafabrikanten nicht das Recht absprechen, für sich sorgen zu wollen.

Auch die Lage der Ammoniaksodaindustrie im Auslande ist inzwischen eine gute geblieben, so stellte die Fabrik zu Northwich im Jahre 1893 169000 t Soda her, das

macht so viel in einer Woche aus, als eine Leblanc-Sodafabrik mittlerer Größe früher in einem ganzen Jahre produzierte. Nach einer Mitteilung über die Ausstellung in Antwerpen im Jahre 1894, mit welcher wir schließen wollen, beträgt die Gesamtproduktion an Soda auf der ganzen Erde mehr als eine Million Tonnen, wovon etwa die Hälfte Ammoniaksoda ist. Die Gesellschaft Solvay besitzt allein zwölf sehr große Werke in den Hauptländern der Erde. Dieselben beschäftigen 6500 Arbeiter, und ihre Maschinen entwickeln 9500 Pferdekräfte. Solvay hat sich jedenfalls sehr große Verdienste um die Sodafabrikation erworben, jedoch ist es wohl zu viel behauptet, wenn gesagt worden ist, daß die Herabsetzung des Sodapreises auf ein Drittel seit dem Jahre 1864 allein das Verdienst Solvays ist. Auch ohne das Auftreten seines Verfahrens hätten die alten Fabriken an der Vervollkommnung ihrer Methoden sicherlich weiter gearbeitet.

Wenn wir die vorausgehenden Angaben im Zusammenhang betrachten, werden wir zu der Meinung kommen, daß nunmehr jede der beiden Fabrikationen im großen ganzen den Platz einnimmt, den sie zu behaupten vermag, so daß, nachdem alle schwächer fundierten Fabriken des Leblanc-Verfahrens zu Grunde gegangen sind, diejenigen, die diese schweren Jahre überdauert haben, wohl durch den Solvayprozeß nicht mehr geschädigt werden, indem sie durch den lohnenden Absatz ihrer Nebenprodukte weiter zu prosperieren vermögen, wenn nicht, wie erwähnt, die elektrolytischen Methoden nochmals die ganze Sachlage verschieben.



418. Zerlegung von Gasen mittels Elektrizität.

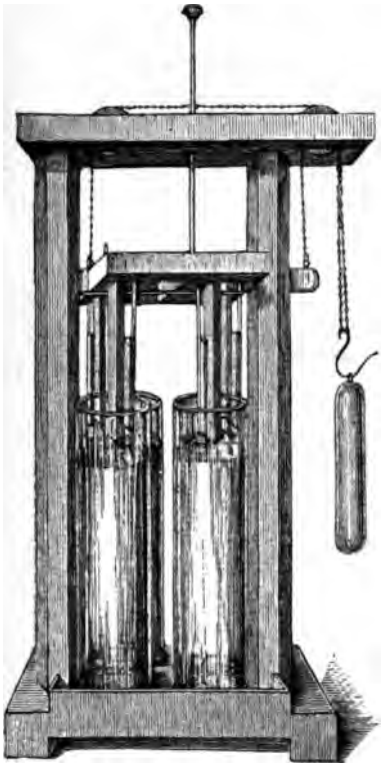
Die elektrolytischen Methoden.

Der Einfluß des elektrischen Funkens und späterhin der galvanischen Elektrizität auf chemische Verbindungen ist seit langem untersucht worden, und man weiß seit den ersten Untersuchungen, die bekannt geworden sind, daß die Elektrizität spaltend auf sie wirkt. Zuerst berichtet nämlich Priestley im Jahre 1775, daß das elektrische Feuer, welches er noch mit der Elektrisiermaschine erzeugte, das Ammoniakgas zerlege. Ammoniakgas besteht doch aus Stickstoff und Wasserstoff, und die Theorie lehrt, daß diese beiden Gase, wenn sie frei nebeneinander existieren, den doppelten Raum einnehmen müssen, als wenn sie miteinander zu Ammoniakgas verbunden sind. Folglich nimmt man die durch die Elektrizität hier eintretende Veränderung schon durch das einfache Betrachten des Apparates wahr, indem das anfangs vom Ammoniakgas erfüllte Volumen zusehends wächst. Heutzutage nimmt man derartige Versuche meist im beistehend abgebildeten Apparate vor. In den Schenkel A bringt man z. B. Ammoniakgas, welches durch Quecksilber abgesperrt wird, und läßt sodann den elektrischen Funken durch dasselbe schlagen, indem hierzu zwei Platindrähte als Leiter in das Glasrohr eingeschmolzen sind. Um das Quecksilber zum Schluß des Versuches in beiden Schenkeln der Röhre wieder gleich hoch stellen zu können, ist am Schenkel B ein Hahn angebracht.

Derartige Forschungen machten erst größere Fortschritte, nachdem die galvanische Elektrizität erfunden war, welche vermittelst Batterien einen langanhaltenden Strom von Elektrizität zu liefern vermag. Solche Batterien werden noch ununterbrochen in den Laboratorien benutzt, die nicht an Elektrizitätswerke angeschlossen sind, und sind in der ihnen für diese von Bunsen gegebenen Form der Tauchbatterien so bequem und so lange haltbar, daß man hier keinen Grund hat, von ihnen abzugehen. Die erregende Flüssigkeit, in die ein Kohle- und ein Zinkstab getaucht werden, ist eine angesäuerte Lösung von chromsaurem Kali, über die wir das Nähere Seite 357 mitgeteilt haben.

Im Jahre 1789, also vierzehn Jahre nach Priestleys Versuchen, teilten Deiman und Paets van Troostwigh mit, daß man auf dem von jenem Forscher angegebenen Wege auch das Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen könne. Im Jahre 1800 konstatierten dann Nicholson und Carlisle, daß die Zersetzung sich außer

durch Reibungs- auch durch galvanische Elektrizität bewerkstelligen lasse. Dann kam die für diesen Teil der Chemie grundlegende Entdeckung durch Davy im Jahre 1806. Davy brachte etwas festes Ätzkali in eine Platinschale, verband diese Schale mit dem negativen Pol einer Batterie und hielt den positiven Pol an das Ätzkali. Das Ätzkali KOH entspricht chemisch durchaus dem Ätznatron NaOH, der kaustischen Soda, die wir ja ausführlich besprochen haben, nur enthält es statt des Metalles Natrium das Metall Kalium. Sobald der positive Pol der sehr starken Batterie das Ätzkali berührte, schmolz es, und er sah sich am Platin kleine Kügelchen von Kaliummetall ausscheiden. Damit war eine ganz neue Art von Metallen entdeckt. Das Aufsehen war ungeheuer. Die auf diesem Wege gewonnenen Metalle, und es wurden bald das Natrium und ähnliche dargestellt, waren unerwartet leicht im Verhältnis zu den sonst bekannten Metallen, schwammen sie doch geradezu auf Wasser. Sie waren dabei so außerordentlich oxydierbar, daß sie an der Luft sehr rasch wieder in ihr Oxyd, aus dem sie soeben der elektrische Strom abgeschieden hatte, übergingen. Auf Wasser geworfen, fingen sie an zu brennen, indem sie dem Wasser, welches doch aus Wasserstoff und Sauerstoff besteht, den Sauerstoff entziehen, um sich mit ihm zu verbinden, wobei sich so viel Hitze entwickelt, daß der freiwerdende Wasserstoff in Brand gerät u. s. w., kurzum sie zeigten bisher ganz unbekannte, sehr merkwürdige Eigenschaften. Man konnte und kann sie daher nur unter sauerstofffreien Flüssigkeiten, wie z. B. Petroleum, das ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen ist und heute zu dem Zwecke dient, aufbewahren, in welcher Art verpackt sie in den Handel kommen. Die Entdeckung dieser Metalle blieb lange ohne technische Konsequenzen, sie schienen sich für praktische Zwecke gar nicht zu eignen.



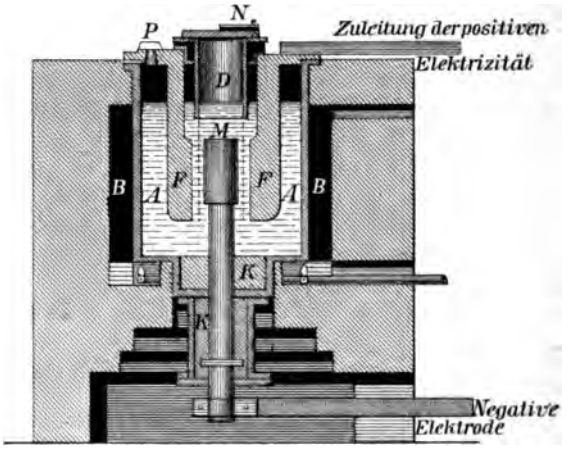
414. Galvanische Tauchbatterie.

Die Weiterbeschäftigung mit dem Gegenstande lehrte dann, daß, wenn man den Strom durch wässerige Lösungen von Metallsalzen statt durch geschmolzene Massen, wie es doch Davy gethan hatte, leitet, er Metalle auch aus ihnen abscheidet, was zur technischen Verwertung, zur Galvanoplastik führte, worüber wir das Nähere beim Cyankalium (S. 349) mitgeteilt haben.

Solange man zur Lieferung des elektrischen Stromes auf die verhältnismäßig kostspieligen galvanischen Elemente mit ihrer geringen Leistungsfähigkeit angewiesen war, konnte seine chemische Arbeit nur zu solch speziellen Zwecken, wie es das Versilbern, das Vergolden ist, Verwendung finden, indem hier die Kosten des Stromes im Verhältnis zum Werte des Fabrikats keine Rolle spielen. Nun kann man mit Hilfe der Elektrizität aber, abgesehen von Niederschlägen der Metalle aus ihren Lösungen, noch die verschiedenartigsten anderen Prozesse durchführen, wobei uns das Nachdenken über die hierbei zu erwartenden Ergebnisse, unter Benutzung des durch Versuche Festgestellten, folgendes voraussehen läßt. Es wird sich in der Technik sowohl um die Elektrolyse von Lösungen als auch geschmolzener Massen handeln können, in beiden Fällen wirkt die Elektrizität zerlegend auf die Verbindungen. Elektrolytisieren wir z. B. eine Lösung von Kupfervitriol (schwefelsaurem Kupfer $CuSO_4$), so scheidet sich das Metall, das Kupfer Cu, am negativen Pol aus, während der als solcher nicht existenzfähige Atomkomplex SO_4 nach dem positiven Pol hinwandert. Hier muß er deshalb sogleich chemische Umsetzungen irgend welcher Art veranlassen, die nun von dem, was sonst noch in Lösung vorhanden ist, abhängen werden. Sind die abgeschiedenen Metalle gegen Wasser indifferent wie Cu, so sind

sie als solche gewinnbar, kommen aber z. B. Kalium oder Natrium zur Abscheidung, so werden diese, da sie in Gegenwart von Wasser doch nicht existieren können, auch am negativen Pol der elektrolytisierten Flüssigkeit chemische Umsetzungen bewirken. Wenden wir uns nun wieder z. B. zur Elektrolyse einer geschmolzenen Verbindung, sagen wir eines so einfachen Salzes, wie es das Kochsalz, das Chlornatrium Na Cl, ist, so zerfällt dieses unter der Wirkung des Stromes in Chlor Cl und Natrium Na, alles weitere beruht auf der rein chemischen Reaktion dieser abgeschiedenen Elemente auf ihre Umgebung. Die Ausnutzung all der damit gegebenen Möglichkeiten erklärt die Vielseitigkeit der Elektrochemie, die wir hier natürlich näher nur in ihren Beziehungen zur Industrie der Alkalien erörtern können, ohne deswegen auf die sehr bequeme Gelegenheit, in Kürze auch die Gewinnung des Magnesiums und Aluminiums kennen zu lernen, verzichten zu wollen.

Von der bedeutenden Anzahl von Verfahren zur Gewinnung des metallischen Natriums sei hier das Castnersche genauer wiedergegeben, nach dem jetzt sehr große Quantitäten hergestellt werden, die z. B. ihre Verwendung im Cyannatriumverfahren (s. S. 348) finden. Die Methode geht nicht vom Kochsalz, sondern vom Ätznatron aus, weil dessen Verarbeitung sich leichter gestaltet. Die negative Elektrode, an der das Natrium sich ausscheiden soll, geht durch den Boden in das Gefäß A, in welchem geschmolzenes Ätznatron sich befindet. Nur sein oberer Teil A wird durch die herumgeführte Gasfeuerung B im Schmelzen erhalten, während im verengten, tiefer liegenden Teile K das Ätznatron erstarrt, so daß es die nötige Abdichtung der Elektrode bewirkt. Die zweite Elektrode F liegt um die negative Elektrode kranzförmig herum. Damit nun während der Elektrolyse die durch diese entstehenden Stoffe nicht aufeinander einwirken können, ist es nötig, die beiden Pole durch eine für Elektrizität durchgängige Scheidewand durch ein Diaphragma zu trennen. Als solches dient hier das Metallgitter M. Der Zerfall des Ätznatrons geht unter dem Einfluß des Stromes so vor sich



415. Apparat zur Natriumgewinnung mittels Elektrolyse nach Castner.

$$\underset{\text{Ätznatron}}{NaOH} = \underset{\text{Natrium}}{Na} + \underset{\text{Wasserstoff}}{H} + \underset{\text{Sauerstoff}}{O}$$

am negativen Pol — am positiven Pol

Natrium und Wasserstoff, welches letztere durch den Deckel entweichen kann, sammeln sich in D, während der Sauerstoff durch die Öffnung bei P ins Freie abgeleitet wird. Das Natriummetall wird aus D direkt ausgeschöpft.

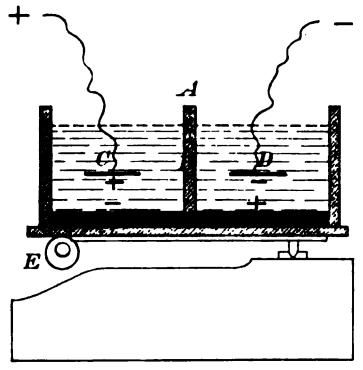
Auf dieselbe Art kann man vom Ätzkali ausgehend das Metall Kalium darstellen, und in ganz ähnlicher Weise gewinnt man das Metall Magnesium aus dem Carnallit. Carnallit ist ein Doppelsalz von Chlormagnesium und Chlorkalium ($MgCl_2 + KCl$), welches sich als für diesen Zweck besonders geeignet erwiesen hat und sich reichlich in Staßfurt findet.

In weit größerer Menge als das Magnesium wird das Aluminium hergestellt und verwendet, sein Oxyd, die Thonerde Al_2O_3, kennen wir vom Alaun her. In der außerordentlich hohen Temperatur des elektrischen Flammbogens kann es geschmolzen werden, und hierbei wird es gleichzeitig durch die Elektrizität in seine Bestandteile zerlegt.

$$\underset{\text{Thonerde}}{Al_2O_3} = \underset{\text{Aluminium}}{Al_2} + \underset{\text{Sauerstoff}}{3O}.$$

Die älteren vor der Zeit der Elektrolyse verwendeten, jetzt gänzlich verlassenen Verfahren der Aluminiumdarstellung wollen wir nicht besprechen. Sie waren sehr schwierig durchführbar und teuer in ihrer Ausführung. So kostete das Kilogramm Aluminium 1857, um welche Zeit es zuerst in den Handel kam, 200 Mark, 1888 noch 90 Mark, 1889 30 Mark, und jetzt kostet es etwa 4 Mark. Zur Herstellung der Elektrizität dient für diesen Zweck z. B. ein Teil der Kräfte des Rheinfalls. Das hier im wilden Tosen dem Meere zuströmende Wasser erzeugt durch seinen in Elektrizität umgesetzten Stoß, den es auf die Turbinen ausübt, jene ungeheure Temperatur, bei der das Aluminium aus der Thonerde sich ausscheidet, während der Sauerstoff in die Umgebung entweicht. Im Jahre 1890 diente seine Kraft zur Herstellung von 41000 kg Aluminium, 1895 waren es schon 500000 kg, welche die auf 4000 Pferdekraft gebrachten Turbinen fertigstellten.

Wir kommen nun zur Gewinnung von Ätznatron, Chlorgas u. s. w. auf dem Wege der Elektrolyse, also den von der Sodaindustrie bisher gelieferten Chemikalien. Eine Unsumme von Patenten sind auf entsprechende Verfahren genommen, denn die Schwierigkeiten in der Praxis sind sehr große. Ja man ist ziemlich allgemein überzeugt, daß die Fabriken, welche diese Chemikalien im Großen elektrolytisch darstellen, ihre Verfahren noch zum Teil geheim halten, so ist nichts Sicheres über die zur Verwendung kommenden Diaphragmen in weitere Kreise gedrungen, indem das Chlor oder seine Derivate alle bisher für den Zweck empfohlenen Materialien ziemlich rasch zerstören. Wir werden deshalb hier ein ebenfalls von Castner erfundenes Verfahren wiedergeben, bei dem die Diaphragmenfrage ganz umgangen ist. Der Trog A ist durch eine Scheidewand B in zwei Hälften geteilt, welche in Quecksilber eintaucht, das den Boden bedeckt. In die Abteilung C, welche mit Kochsalzlösung gefüllt ist, taucht eine Kohlenanode, während in die mit Wasser gefüllte Abteilung D die aus Eisen hergestellte Kathode taucht. Nach Stromschluß geht das aus der Kochsalzlösung in C abgeschiedene Natrium ins Quecksilber, indem es sich mit ihm zu Natriumamalgam legiert, und indem nun der ganze Apparat, der einerseits auf einer Schneide, anderseits auf einem Exzenter E ruht, leicht hin und her geschaukelt werden kann, verteilt sich das Natrium im Quecksilber, kommt hierdurch in der Abteilung D mit Wasser in Berührung und bildet hier unter Wasserstoffgasentwickelung sogleich Ätznatron, das sehr rein ausfallen muß. Will man Soda erzeugen, so braucht man nur Kohlensäure ins Ätznatron zu leiten.



416. Darstellung von Ätznatron durch Elektrolyse nach Castner.

Mehr noch als für die Ätznatrongewinnung wird das Verfahren zur Fabrikation von Ätzkali benutzt, indem man statt Chlornatrium Chlorkalium, das doch Staßfurt so billig liefert, auf die gleiche Art behandelt. Das Ätzkali ist wahrscheinlich auf keinem anderen Wege so billig wie auf diesem darstellbar.

$$KCl = K + Cl \quad \text{und} \quad 2K + 2H_2O = 2KOH + H_2$$

Chlorkalium = Kalium + Chlorgas Kalium + Wasser = Ätzkali + Wasserstoff.

Das bei dieser Elektrolyse am anderen Pol erhaltene Chlor aus dem Chlornatrium oder dem Chlorkalium wird auf Chlorkalk verarbeitet, und elektrolytisch gewonnener Chlorkalk ist ebenfalls bereits im Handel.

Nach Öttel können sich nun bei der Elektrolyse von Lösungen von Chlornatrium oder Chlorkalium mit oder ohne Diaphragma folgende Vorgänge abspielen. 1) Elektrolyse von Chlornatrium z. B. unter Bildung von Ätznatron, Chlor und Wasserstoff, das ist also die von uns soeben beschriebene Methode. Der Wasserstoff stammt bei ihr daher, daß das Natrium, wenn es in Ätznatron übergeht, aus dem Wasser Wasserstoffgas entwickelt.

$$2Na + 2H_2O = 2NaOH + H_2$$

Natrium + Wasser = Ätznatron + Wasserstoff.

2) Elektrolyse von Ätzalkali unter Bildung von Wasserstoff und Sauerstoff. 3) Bildung von unterchlorigsaurem Alkali durch Einwirkung von Chlor auf Ätzalkali. 4) Bildung von chlorsaurem Alkali durch Oxydation des vorigen. 5) Elektrolyse des unterchlorigsauren Salzes unter Bildung von Ätzalkali, Wasserstoff, unterchloriger Säure und Sauerstoff. 6) Elektrolyse des chlorsauren Alkalis unter Erzeugung von Ätzalkali, Wasserstoff, Chlorsäure und Sauerstoff. 7) Reduktion des zur Kathode diffundierten unterchlorigsauren Salzes zu Chlorid. 8) Reduktion des zur Kathode diffundierten chlorsauren Salzes zu Chlorid.

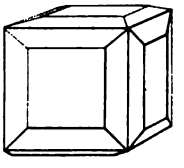
Indem man nun durch Abänderung der Bedingungen der Elektrolyse jeden dieser 8 Prozesse zum Hauptprozeß machen kann, kann man z. B. hauptsächlich auf unterchlorigsaures Salz hinarbeiten. Die unterchlorige Säure ist aber das wirksame Prinzip des Chlorkalks, kurzum durch diese Art der Elektrolyse wird die Kochsalzlösung in eine Bleichflüssigkeit verwandelt, welche namentlich in der Papierindustrie Verwendung findet. Anderseits kann man z. B. chlorsaures Kali erzeugen und dieses so elektrolytisch aus Chlorkalium fabrizieren. Läßt man die Lösungen Chlor gasförmig entwickeln, so kann man es durch Überleiten über Kalk in Chlorkalk verwandeln u. s. w.

Die industrielle Entwickelung dieser Verfahren hat bisher folgenden Verlauf genommen. Im Jahre 1889 gab es bereits eine Versuchsfabrik zur Herstellung von elektrolytischem chlorsauren Kali zu Villers-sur-Hermes. Seit 1891 fabriziert man es im großen zu Vallerbes in der Schweiz, wo 3000 Pferdekräfte zur Verfügung stehen, und dieselbe Gesellschaft baut jetzt eine noch größere Fabrik zu Saint-Jean de Maurienne in Savoyen. Im Jahre 1884 vereinigten sich drei große deutsche chemische Fabriken, Matthes & Weber Duisburg, Kunheim & Co. Berlin und die chemische Fabrik Griesheim zur technischen Ausarbeitung elektrolytischer Methoden und bauten 1888 eine größere Anlage zu Griesheim, die jetzt mit 400 Pferdekräften betrieben wird. Seit 1892 führt dieses elektrolytische Unternehmen den Namen Aktiengesellschaft Elektron, diese baute weiter 1893 eine Fabrik zu Bitterfeld, die 1895 schon aufs Doppelte vergrößert wurde, während in England und Amerika immer noch wenig elektrolytisch erzeugte Chemikalien hergestellt werden.

Fluor, Brom.

Wir haben gelegentlich der Sodaindustrie uns ausführlich mit dem Chlor beschäftigt und wollen jetzt die drei Elemente Fluor, Brom und Jod, die ihm chemisch außerordentlich nahe stehen, in Betracht ziehen, soweit sie technisches Interesse beanspruchen, wobei wir des Verständnisses halber manches ausschließlich für die Wissenschaft Wertvolle erwähnen müssen.

Das Fluor kommt nur in einer Form reichlich in der Natur vor, nämlich als Fluorcalcium, gewöhnlich Flußspat genannt. Während man Chlor lange kennt, ist das mit dem Fluor nicht der Fall. Wie aktiv das Chlor ist, wie sehr es bestrebt ist, mit anderen Körpern Verbindungen einzugehen, wissen wir (s. S. 399), beim Fluor ist dies Bestreben aber gar so groß, daß kein rein chemischer Weg zu seiner Darstellung bekannt ist. Diese gelang erst dem Franzosen Moissan im Jahre 1886 auf die Art, daß er Fluorwasserstoffsäure, das ist die der Chlorwasserstoffsäure analoge Verbindung des Fluors, welche leicht darstellbar ist, auf -23° abkühlte und sie jetzt elektrolytisch spaltete. Hierbei zerfällt sie in



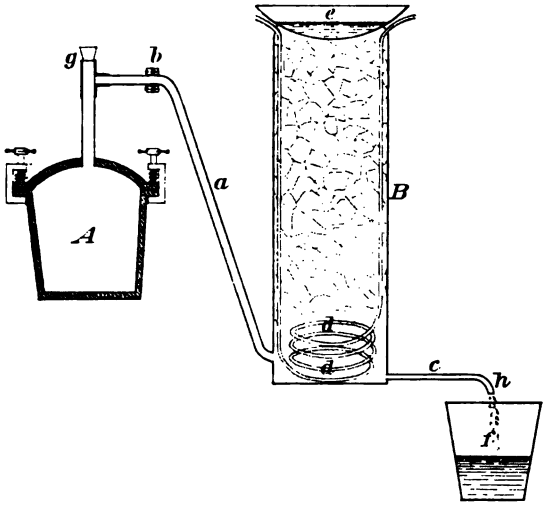
417. Flußspatkrystall.

$$\begin{array}{ccccc} \text{Fluorwasserstoff} & = & \text{Fluor} & + & \text{Wasserstoff} \\ \text{HFl} & = & \text{Fl} & + & \text{H.} \end{array}$$

Da Fluor, welches ein Gas ist, alles andere außer Gold und Platin, auf welche es erst bei 600° einwirkt, angreift, kann es nur durch Röhren aus diesen beiden Stoffen geleitet werden. Nach Art anderer Gase es aufzufangen, ist unmöglich, weil es keine Absperrflüssigkeit für dasselbe gibt, mit Quecksilber bildet es z. B. augenblicklich Quecksilberfluorür.

Von technischem Interesse ist nun diese Fluorwasserstoffsäure, die auch Flußsäure genannt wird, ebenfalls. Ihre Darstellung im großen erfolgt wohl am besten in dem von Hempel angegebenen Apparate. Er besteht aus einem gußeisernen Gefäße A mit aufgeschliffenem Deckel, welcher durch 4 Klemmschrauben fest aufgepreßt werden kann. In den Deckel ist eine etwa 30 mm weite eiserne Gasleitungsröhre eingesetzt, welche bei b durch eine Flantsche mit dem Bleirohr a und dadurch mit dem bleiernen Absorptionsapparat B in Verbindung steht; bei g ist die Röhre mit einem Dreiwegstück versehen, dessen eine Öffnung durch einen Kork verschlossen ist.

Der Absorptionsapparat besteht aus einem etwa 15 cm weiten und 70 cm hohen Bleicylinder, welcher am Boden ein 1 cm weites Ablaufrohr c hat. In dem Bleicylinder liegt eine Kühlschlange d, welche aus einem 5 mm weiten Bleirohr zusammengerollt ist, aller übrige Raum ist mit Holzkohlenstücken ausgefüllt.



418. Darstellung der Flußsäure.

Zum Gebrauch beschickt man A mit gemahlenem Flußspat und konzentrierter Schwefelsäure, von denen man je 1 kg anwendet, gießt in eine auf dem Absorptionscylinder gestellte Bleischale e, deren Boden siebartig durchlöchert ist, etwas Wasser und stellt bei f ein Gummi- oder Bleigefäß unter. Durch die Kühlschlange läßt man nunmehr einen starken Strom kalten Wassers laufen. Das Wasser aus der Bleischale verteilt sich über die Holzkohlen und fließt so über diese dem Fluorwasserstoffgas, welches der Apparat A, den man inzwischen erhitzt hat, liefert, entgegen.

Flußspat + Schwefelsäure = Flußsäure + Schwefelsaurer Kalk
$CaFl_2$ + H_2SO_4 = 2 HFl + $CaSO_4$

Die gebildete Flußsäure, die ganz der Salzsäure entspricht, auch sie ist ein in Wasser leicht lösliches Gas, löst sich im Wasser, das über die Holzkohle fließt, und sammelt sich im Gefäße f. Hört das Tropfen bei h auf, so gießt man die abgelaufene Flußsäure wieder zurück nach e, läßt sie also neuerdings dem Fluorwasserstoffgas entgegen rinnen, und wiederholt dies so lange, bis der eiserne Topf schwach rotglühend geworden, zu welcher Zeit die gesamte Flußsäure aus ihm ausgetrieben ist. Zu ihrer Reinigung kann sie aus Platinapparaten destilliert werden. Man muß diese kostspieligen Gefäße nehmen, weil sie alle anderen Stoffe zu sehr angreift, namentlich Glas frißt sie heftig an, und speziell zum Glasätzen findet sie ihre technische Verwendung.

Schwankhardt in Nürnberg bemerkte 1670, daß, wenn man ein Gefäß, in das man Flußspat und Vitriolöl gegeben hat, mit Glas bedeckt, dieses von den aufsteigenden Gasen geätzt wird. Scheele konstatierte dann 1771, daß diese Wirkung von einer eigentümlichen Säure, die wir jetzt Flußsäure nennen, herrührt. Die wässerige Flußsäure ist eine farblose, äußerst saure, bei starker Konzentration an der Luft rauchende Flüssigkeit, erinnert also durchaus an die wässerige Salzsäure.

Will man sie zum Ätzen benutzen, also um Zeichnungen, Schriftzüge, Graduierungen in Glas einzuätzen, so überzieht man dieses mit einem Ätzgrund, auf den die Säure nicht wirkt. Einen solchen erhält man durch Zusammenschmelzen von Mastix, Asphalt und weißem Wachs unter Zusatz von etwas Terpentinöl. Man läßt ihn in geschmolzenem Zustande auf das erwärmte Glas laufen. In ihm werden nun die Zeichnungen so graviert, daß die zu ätzenden Stellen frei liegen. Das Ätzen selbst kann jetzt mittels wässeriger oder gasförmiger Säure bewirkt werden.

Mit gasförmiger Säure arbeitet man so, daß man in einem Bleikasten Flußspat mit Schwefelsäure übergießt und auf ihn nach Art eines Deckels das zu ätzende Glas legt, worauf das aufsteigende flußsaure Gas die Ätzung besorgt. Je nach der Tiefe, bis zu der man ätzen will, ist mehr oder weniger Zeit erforderlich. Genügt die Ätzung, so entfernt man schließlich den Ätzgrund mit Terpentinöl. Will man mit der flüssigen Säure ätzen, so macht man am Rande des Glases eine Erhöhung aus dem Deckgrund und gießt in die so erhaltene flache Schale die Säure, oder man gießt ein Gemisch von Flußspat und verdünnter Schwefelsäure auf. Der Unterschied zwischen diesen beiden Arten der Ätzung ist der, daß die flüssige Säure eine durchsichtige Zeichnung, die gasförmige eine undurchsichtige erzeugt.

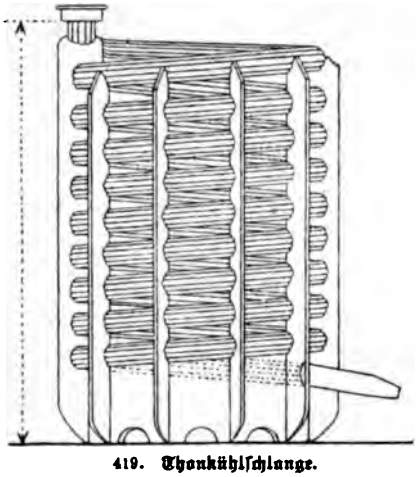
Weil die Flußsäure hiernach Glas zerstört, kann sie nicht in Glasflaschen aufbewahrt oder versandt werden. Schädeler schlug deshalb schon in den fünfziger Jahren vor, sie in Flaschen aus Guttapercha aufzubewahren, welche sie nicht angreift, und dieser Vorschlag hat sich so bewährt, daß er der bis heute übliche geblieben ist. Nur wenn es sich um Flußsäure handelt, die zu analytischen Arbeiten dienen soll und deshalb sehr rein sein muß, nimmt man seit dem Jahre 1891 Hartgummiflaschen, da die Säure aus den Guttaperchaflaschen Spuren von Eisen auflöst, die diese enthalten.

Das **Brom**, zu dem wir jetzt übergehen, ähnelt dem Chlor noch mehr als das Fluor hinsichtlich seines chemischen Verhaltens. Es wurde von Balard aufgefunden, als er sich mit der Untersuchung der Mutterlaugen, welche in den südfranzösischen Salzgärten zurückbleiben (s. S. 362), beschäftigte. Sein Name ist nicht gerade vornehm, er bedeutet der „Gestank", wonach man sich vom Geruche des Broms eine Vorstellung machen kann, denn die Chemiker haben doch im allgemeinen wenig empfindliche Nasen. Es stellt in reinem Zustande eine tiefrote spezifisch sehr schwere Flüssigkeit dar, die braunrote Dämpfe ausgibt.

Seine chemische Verwandtschaft zu den anderen Elementen ist nicht ganz so stark wie die des Chlors, leitet man also in eine Lösung, die Bromverbindungen enthält, Chlor ein, so wird es in Freiheit gesetzt, indem das Chlor es verdrängt und an seine Stelle tritt. Da es sehr flüchtig ist, es siedet bei 58°, kann es leicht aus derartigen Lösungen durch Destillation gewonnen werden. Damit ist der Weg seiner Gewinnung gegeben. Sollen Mutterlaugen auf Brom verarbeitet werden, so setzt man ihnen nach Balard Braunstein und Salzsäure, unsere uns so wohl bekannten Chlorentwickler (s. S. 400), zu und erwärmt, solange rötlich gefärbte Dämpfe übergehen. Außer in Südfrankreich ist auf diesem Wege auch Brom aus dem Meerwasser der Nordsee dargestellt worden. Auf der Insel Wangeroog gab es vor Jahren eine Saline, die Kochsalz aus Seewasser bereitete. Das Meerwasser wurde durch Gradieren und Auflösen von englischem Steinsalz in der gradierten Flüssigkeit siedewürdig gemacht. Ein Kubikmeter Meerwasser gab schließlich etwa 10 l Mutterlauge, aus der bei Winterkälte schwefelsaure Magnesia (Bittersalz) auskrystallisierte. Die hiervon abgegossene Lauge wurde auf Brom verarbeitet. Dies geschah in der Art, daß man ihr Braunstein und Schwefelsäure zusetzte. Die Schwefelsäure macht natürlich aus dem Kochsalz der Lauge Salzsäure frei, welche dann mit dem Braunstein das nötige Chlor liefert. Aus 100 kg Mutterlauge erhielt man auf Wangeroog etwa 600 g Brom. Auch manche Salinen des Inlandes stellten es aus ihren letzten Mutterlaugen dar, so die Saline zu Schönebeck an der Elbe. Die Menge des so dargestellten Broms war aber immer nur eine unbedeutende, genügte jedoch für den geringen Bedarf der Welt, indem die Apotheker die Hauptabnehmer waren. Dies änderte sich dann mit der zunehmenden Ausdehnung der Photographie. Als besonders wirksam zeigte sich für deren Zwecke das Bromsilber, und daran schloß sich bald ein zweiter Verbrauch, der diesen ersten längst völlig in den Schatten stellt, das ist der Verbrauch in der chemischen Industrie, namentlich der der Anilinfarben.

Mit Chlor war im großen nicht gerade bequem zu arbeiten, wie wir gesehen haben, bis zu der Zeit, in welcher es als Flüssigkeit in den Handel kam, was doch aber erst der allerneuesten Zeit angehört, und so benutzten die Anilinfarbenfabriken, wenn sie Verbindungen brauchten, die Chlor oder Brom enthalten sollten, um sich nachher in bestimmter Weise weiter verarbeiten zu lassen, lieber das als Flüssigkeit käufliche Brom.

Diesen ausgedehnten Bedarf decken heutzutage Staßfurt und Nordamerika. Wir wissen von der großen Kaliindustrie Staßfurts, und dort bleiben natürlich ungeheure Massen Mutterlaugen, aus denen die Kalisalze auskrystallisiert sind, übrig, die man in die Flüsse laufen läßt. Sie enthalten hauptsächlich Chlormagnesium (s. S. 411). Neben diesem enthalten sie aber auch ein wenig Brommagnesium, nämlich neben 30—34% von ersterem $^2/_{10}$ % des letzteren.



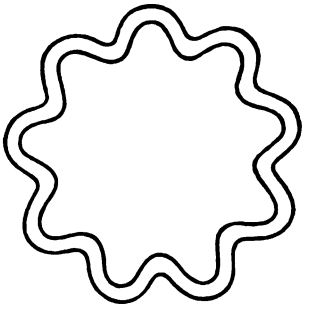
419. Thonkühlschlange.

Um erwähnenswerte Mengen Brom abdestillieren zu können, benutzt man deshalb aus Sandsteinplatten zusammengefügte Kästen, die etwa 3000 l fassen. Sie haben in sich einen falschen Boden, auf den eine solche Menge Braunstein gegeben wird, daß er für viele Destillationen hinreicht. Da die Mutterlauge und Schwefelsäure als Flüssigkeiten hineinlaufen, braucht deshalb nur selten der schwere Mannlochverschluß im Deckel geöffnet zu werden. Durch eine Dampfleitung vermag man direkten Dampf in sie einzuleiten.

$$\underset{\text{Chlormagnesium}}{MgCl_2} + \underset{\text{Brommagnesium}}{MgBr_2} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{2H_2SO_4} + \underset{\text{Braunstein}}{MnO_2} =$$

$$= \underset{\text{schwefelsaure Magnesia}}{2MgSO_4} + \underset{\text{Manganchlorür}}{MnCl_2} + \underset{\text{Brom}}{2Br} + \underset{\text{Wasser.}}{2H_2O}$$

Ein solcher Kasten steht mit einem Kühlrohr aus Thon in Verbindung, welches sich in einem Kühlfaß befindet. Ehemals mußten diese Kühler aus England bezogen werden, heute liefern sie auch deutsche Fabriken, z. B. Rohrmann in Krauschwitz. Sie sind etwa 1,1 m hoch. Ihre Rohrlänge beträgt 18 m, und das Rohr hat, um die Kühlfläche zu vergrößern, den in der Abbildung in $^2/_3$ der natürlichen Größe wiedergegebenen gewellten Querschnitt. Man verwendet Thonkühlschlangen trotz ihrer Zerbrechlichkeit, weil metallene zu sehr vom Brom angegriffen werden. Ihr unteres Ende ist mit einer dreihalsigen Flasche verbunden, welche man nach ihrem Erfinder, der zu Anfang des Jahrhunderts lebte, Woulffsche Flaschen nennt. In dieselbe tropft durch den Tubulus A das aus dem Destillationsgefäß kommende Brom nebst dem mitübergehenden Wasser. Im Tubulus B ist ein Glasrohr befestigt, welches in ihm verschiebbar ist. Es hat heberförmige Gestalt, wie Abb. 421 zeigt, und man kann mit seiner Hilfe die Flasche in das untenstehende Gefäß D entleeren, ohne sie öffnen zu müssen, indem man aus ihr je nach Bedarf das Brom oder das überstehende Wasser, welches mit Brom gesättigt ist und daher rötlich aussieht, abzieht. Wasser löst nämlich 3 % Brom.

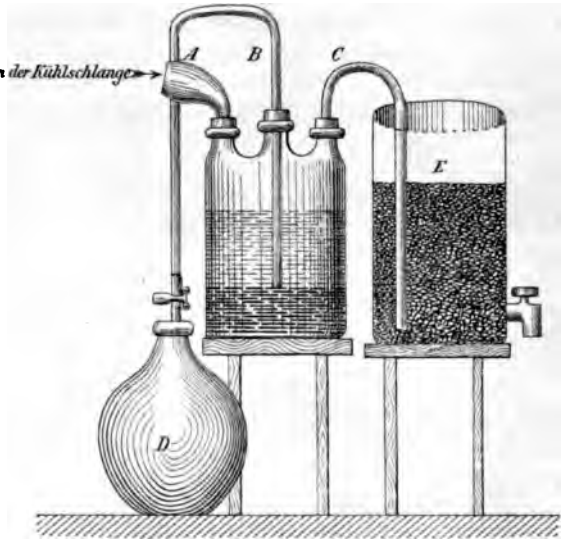


420. Querschnitt des gewellten Kühlschlangenrohres ($^2/_3$ nat. Größe).

Die geringen Mengen Bromdampf, welche aus der Flasche entweichen, leitet man durch ein im Tubulus C befestigtes Bleirohr in ein Steinzeuggefäß E, das mit nassen Eisenspänen gefüllt ist. Das Brom verbindet sich hier mit dem Metall sofort und so vollständig zu Bromeisen, daß nichts von ihm in die Luft gelangt. Das erhaltene Rohmaterial wird sodann durch Destillation aus Glasretorten gereinigt, die ohne jede Abdichtung, weil diese durch das übergehende Brom angegriffen und aufgelöst das Destillat verunreinigen würde, mit einer stark gekühlten Vorlage verbunden sind.

Die Fabrikation an Brom erreicht jetzt 400 000 kg jährlich, woran Staßfurt mit zwei Dritteln beteiligt ist. Den Rest liefern Nordamerika und einige Salinen. Doch ist

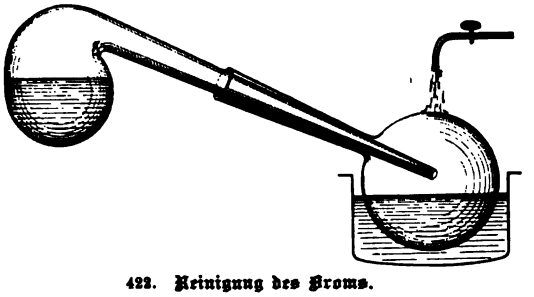
die amerikanische Art seiner Darstellung nicht genau bekannt, im großen Ganzen muß sie sich natürlich an die europäische Fabrikationsweise anschließen. In den sechziger Jahren war der Preis für das Kilogramm etwa 60 Mark, während er jetzt nur noch 3—4 Mark beträgt. Die Versendung des Broms kann nur in Glasflaschen mit vorzüglich eingeschliffenem Glasstopfen erfolgen, und zwar werden usuell Flaschen aus bläulichem Glase benutzt. Da diese Verpackung unbequem, teuer und trotzdem ihrer Zerbrechlichkeit halber nicht ganz gefahrlos ist, kommt von Staßfurt aus auch das Brom als Bromeisen in den Handel. Dazu wird das flüssige Bromeisen, welches sich ja so leicht bildet, möglichst eingedampft. Es stellt dann eine dunkle harte Masse vor, die in Holzfässer verpackt wird. Ihr Gehalt an Brom beträgt bis 70 %.



421. Auffangen des Broms.

Dieses Bromeisen findet seine Verwendung zur Herstellung von Bromkalium, Bromnatrium und Bromammonium, zu denen wir jetzt übergehen. Bringt man Brom mit Kalilauge zusammen, so erhält man nicht Bromkalium, sondern neben diesem zugleich bromsaures Kali, indem die Verhältnisse hier ganz so liegen wie beim Chlor, wo wir sie bei der Fabrikation des chlorsauren Kalis (s. S. 404) ausführlich erörterten. Man verfährt daher zur Darstellung von Bromkalium so, daß man Brom an Eisen bindet und diese Lösung mit einer Lösung von kohlensaurem Kali zusammengibt. Dann bilden sich Bromkalium und kohlensaures Eisen, welches letztere als unlöslicher Niederschlag abfiltriert wird.

Bei Verwendung von Soda statt Pottasche erhält man natürlich Bromnatrium, und nimmt man kohlensaures Ammoniak, Bromammonium. Wir sehen also, daß für die Fabrikanten dieser so viel gebrauchten Verbindungen das Bromeisen ebenso verwendbar wie das Brom ist, ja sie ersparen noch die Mühe, letzteres erst in seine Eisenverbindung überführen zu müssen.



422. Reinigung des Broms.

Die genannten Bromsalze werden alle drei in der Medizin verwendet. Namentlich in der Epilepsiebehandlung, in die es seit 1866 Eingang gefunden hat, ist das Bromkalium ein kaum mehr zu missendes Mittel. Lösungen von Bromsalzen wirken auch allgemein beruhigend und führen dadurch Schlaf herbei. Für diesen Zweck werden sie viel in Form des Erlenmeyerschen Bromwassers benutzt, welches durch Auflösen von 2 Teilen Bromkalium, 2 Teilen Bromnatrium und 1 Teil Bromammonium in $^1/_2$ l Selterwasser hergestellt wird.

Außer diesen Salzen kommt hauptsächlich das Bromsilber in Betracht. Auf seiner Empfindlichkeit gegen das Licht beruht die Herstellung der modernen Trockenplatten in der Photographie. Seine außerordentliche Lichtempfindlichkeit erhält es merkwürdigerweise erst durch längeres Erhitzen auf höhere Temperatur in einer Gelatineemulsion,

welche Beobachtung Bennet im Jahre 1878 machte, wodurch er der Begründer der modernen Photographie geworden ist. Man erhält das Bromsilber, wenn man zu einem der erwähnten Salze eine Lösung von salpetersaurem Silber setzt. Es scheidet sich dann sofort als ein in Säuren ganz unlöslicher gelber Niederschlag aus, und die Herstellung von Trockenplatten für die Photographie erfolgt z. B. in folgender Art.

Man löst 12 g Bromammonium und 2 g Gelatine in 100 ccm Wasser, säuert ganz schwach mit Essigsäure an und erwärmt im Wasserbade bis 75°, und läßt 20 g salpetersaures Silber in 100 ccm Wasser gelöst und ebenfalls schwach angesäuert hinzutröpfeln. Dann siedet man zwei bis vier Stunden und versetzt mit 10 g Gelatine, die vorher in Wasser aufgequollen ist, läßt erstarren, quetscht die Emulsionsgallerte durch Canevas, wäscht die erhaltene Nudel durch fließendes Wasser, bis das Wasser sich mit neu zugesetzter Silberlösung nicht mehr trübt, und trocknet die Nudel, schmilzt sie, filtriert sie durch Baumwolle, verteilt sie auf horizontal gelegte Glasplatten, läßt diese erstarren und in einem Trockenschranke trocknen. Das fertige Produkt ist die Bromsilbergelatineemulsionsplatte. Es ist wohl nicht nötig, darauf hinzuweisen, daß dies alles in einer Dunkelkammer ausgeführt werden muß.

Seit längerer Zeit gibt man außerdem 2 % vom Bromammonium an Jodkalium zur Lösung zu, weil die hierdurch dem Bromsilber zugemischte Quantität Jodsilber die Platten noch empfindlicher macht, auch klarere Bilder liefern hilft.

Das Jod.

Das Jod entspricht in seinem ganzen Verhalten dem Brom und dem Chlor. Auch sein Verbindungsbestreben ist so groß, daß es unverbunden auf Erden nicht vorkommen kann.

Entdeckt wurde es infolge der Beobachtung eines Pariser Salpeterfabrikanten Courtois, der bemerkte, daß eiserne Kessel rasch zerfressen wurden, in denen er zur Umsetzung des salpetersauren Kalks in salpetersaures Kali (s. S. 437) den Auszug von Pflanzenaschen, die aus Meerespflanzen gewonnen waren, verwendete. Gay-Lussac, dem er dieses Verhalten mitteilte, fand dann die Ursache in einem neuen, von ihm in den Aschen entdeckten Element, welchem er, weil es leicht in violetten Dämpfen sublimiert, den Namen Jod gab, im Anschluß an das griechische Wort ἰώδης veilchenfarbig.

Damit war die einzige Quelle, aus der dieses Element in größeren Mengen zu haben war, zugleich aufgefunden, und es entwickelte sich die Jodindustrie, die in den vierziger Jahren in Gang kam, an der Küste Nordfrankreichs und Schottlands, wo man von jeher gewohnt war, Seepflanzen zu veraschen (s. S. 358). Der Gehalt der meisten von ihnen an Jod im getrockneten Zustande ist im Laufe der Zeit bestimmt worden. So enthält Laminaria digitata 0,4535 %, Fucus serratus 0,0856 %, Fucus vesiculosus 0,0297 %, also der Jodgehalt ist ein sehr verschiedener, aber immer sehr geringer, je nach den Arten.

Der an die Küste gespülte Tang oder auch die absichtlich vom Meeresboden heraufgeholten Pflanzen werden an der Sonne getrocknet und hernach in Gruben verbrannt. Die zurückbleibende Asche wird jetzt in den von Shanks angegebenen Auslaugeapparaten (s. S. 393) auf das vollständigste ausgelaugt.

In Schottland ergeben 1000 kg Asche 5—6 kg Jod, in Frankreich 7—14 kg. Eine einzige schottische Fabrik verarbeitet jährlich 10—12000000 kg dieser Asche. Auch die Japaner haben sich dieser Fabrikation nunmehr zugewandt und produzieren jetzt viel Jod. Es gibt Fabriken hierfür sowohl in Tokio als auch weiter nordwärts an der Ostküste, denen in den im Übermaße vorhandenen Seetangen ein ausgiebiges Material zu Gebote steht. Die japanischen Chemiker führten im Jahre 1896 heftige Klage darüber, daß europäische Fabriken, um die japanischen zu ruinieren, Jodpräparate zu Schleuderpreisen in Japan verkauften, und haben bereits einen hohen Schutzzoll auf diese Präparate bei ihrer Regierung beantragt.

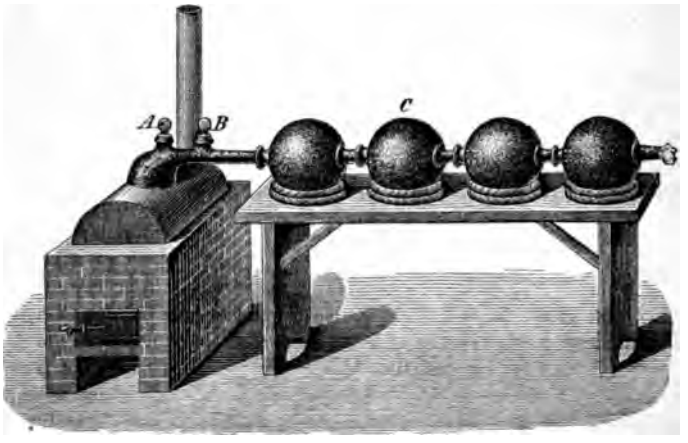
Die aus den Aschen erhaltenen Laugen werden eingedampft, wobei mit der fortschreitenden Konzentration verschiedene Salze nacheinander auskryställisieren. Zuerst scheidet sich schwefelsaures Kali aus, dann Chlorkalium, dann kohlensaures Natron u. s. w.

Bei der außerordentlichen Löslichkeit des Jodnatriums häuft sich dieses in den letzten Mutterlaugen an, aus denen es nun wieder nach Art des Broms gewonnen wird. Man macht diese Mutterlaugen mit Schwefelsäure sauer, bringt sie in gußeiserne Kessel, die mit einem bleiernen Helm versehen sind, und setzt jetzt portionsweise Braunstein durch A zu, indem man nach jedesmaligem Zusatz des Braunsteins abwartet, ob noch bei B violette Dämpfe erscheinen, wenn man den Stöpsel lüftet. Die Einwirkung des Braunsteins auf die durch die Schwefelsäure aus dem Jodnatrium in Freiheit gesetzte Jodwasserstoffsäure verläuft wieder in der uns jetzt leicht verständlichen Art nach der Gleichung:

Jodwasserstoffsäure + Braunstein + Schwefelsäure = Jod + Schwefelsaures Mangan + Wasser

$$2\,HJ + MnO_2 + H_2SO_4 = 2\,J + MnSO_4 + 2\,H_2O.$$

Durch das portionsweise Zusetzen des Braunsteins erreicht man, daß nicht auch Brom oder gar Chlor mit ausgetrieben werden, welche das Jod verunreinigen würden. Es setzt sich in Form von Krusten in den thönernen Vorlagen C ab, deren Anordnung aus der Abbildung zu ersehen ist. Das Abtreiben des Jods erfordert jedesmal etwa zehn Stunden, so daß man täglich eine Destillation ausführt. Alle vierzehn Tage werden die Vorlagen entleert, die dann jede 50—80 kg Jod enthalten.



423. Gewinnung des Jods.

Die Form der Destillationsapparate ist viel variiert worden, ihr Prinzip ist aber immer das in der Abbildung wiedergegebene geblieben, auch hat man keine bessere Art von Vorlagen zur Verdichtung des Jods anzubringen vermocht. Man hat aber die Destillation auch ganz vermeiden wollen und durch Zugabe von Chlor das Jod aus der Mutterlauge auszufällen gesucht, was bei seiner sehr geringen Löslichkeit in Wasser theoretisch sehr gut möglich erscheint. Zu dem Zweck verfährt man so, daß man zu der mit Salzsäure sauer gemachten Lauge chlorsaures Kali setzt. Chlorsaures Kali wirkt auf Salzsäure wie Braunstein, indem sein Sauerstoff sich mit dem Wasserstoff der Salzsäure verbindet, und so Chlor frei wird.

Chlorsaures Kali + Salzsäure = Chlorkalium + Chlor + Wasser

$$KClO_3 + 6\,HCl = KCl + 6\,Cl + 3\,H_2O.$$

Durch sehr allmählichen Zusatz von chlorsaurem Kali kann man den Punkt treffen, an dem gerade alles Jod ausgefällt ist. Das so erhaltene Produkt wird möglichst abgepreßt und an der Luft etwas getrocknet, was wegen der Flüchtigkeit des Jods nicht lange fortgesetzt werden kann, ohne daß große Jodverluste entstehen. Zufolge seines Wassergehalts ist dieses von französischen Fabriken gelieferte Produkt weniger gut, als das englische. Die englische Produktion mag in den siebziger Jahren 120000 kg, die französische 40000 kg jährlich betragen haben.

Die Verhältnisse in der Jodgewinnung haben sich seitdem völlig verschoben. Die verhältnismäßig geringen Mengen an Jod, welche die Meerespflanzen sammeln, haben zum Konkurrenten einen so ungeheuren Vorrat an Jod bekommen, daß die Gewinnung aus ihren Aschen sehr zurückgegangen ist, und ein großer Teil der europäischen Fabriken die Jodgewinnung als nicht mehr lohnend eingestellt hat. So sollen von den noch vor 20 Jahren existierenden 14 englischen Fabriken gegenwärtig nur drei im Betriebe sein.

Die großen Salpeterlager in Chile, auf die wir beim Salpeter ausführlicher zurückkommen, liefern nämlich bei ihrer Verarbeitung jodhaltige Mutterlaugen, deren Analysen zuerst Langbein im Jahre 1871 veröffentlichte. Danach enthielten die Endlaugen verschiedener chilenischer Salpeterwerke zwischen 4,8 und 2,3 g Jod im Liter, und wenn man nun bedenkt, daß Millionen und Millionen von Litern dieser Flüssigkeit zur Verfügung stehen, so ist leicht einzusehen, daß Chile allein mehr an Jod zu liefern vermag, als die Welt überhaupt braucht.

Aus den Mutterlaugen wird dort das Jod jetzt mittels einer Lösung von saurem schwefligsaurem Natron abgeschieden. Diese hat die Eigenschaft, das Jod als solches zu fällen, und zwar nicht nur das als Jodnatrium in der Lösung vorhandene, sondern auch das, welches sich in ihnen als jodsaures Natron findet, und diese Mutterlaugen enthalten auch reichlich jodsaures Natron. Das jodsaure Natron entspricht in chemischer Beziehung unserem oft genannten chlorsauren Kali.

Sehr interessant ist, wie man sich an Ort und Stelle das schwefligsaure Natron bereitet. Man glüht nämlich dort Salpeter mit Kohlenstaub in einem Flammofen. Dabei verbrennt die Kohle auf Kosten des Sauerstoffs des Salpeters zu Kohlensäure, welche sich mit dem Natron des Salpeters zu kohlensaurem Natron, zu Soda vereinigt. Diese Art der Sodadarstellung kann natürlich nur an jenen Orten lohnend sein, wo der Salpeter so geringwertig ist, wie auf den chilenischen Salpeterwerken. Um die Soda in saures schwefligsaures Natron überzuführen, bringt man sie in große geschlossene Holzbottiche, durch welche eine Luftpumpe die aus brennendem Schwefel sich entwickelnde schweflige Säure saugt. Die schweflige Säure treibt erst die schwächere Kohlensäure aus, es bildet sich schwefligsaures Natron, das beim weiteren Durchleiten der schwefligen Säure in saures schwefligsaures Natron übergeht (s. S. 368).

Die mit diesem Reagenz versetzte Mutterlauge, die sich in mit Bleiblech ausgeschlagenen Holzbottichen befindet, ist nach achtstündigem Stehen völlig klar geworden, sie enthält jetzt nur noch 0,3 g Jod im Liter. Das am Boden liegende ausgefällte Jod wird nach dem Ablassen der überstehenden Flüssigkeit in Eimer geschöpft und in etwa 1,3 m hohe Fässer geworfen, die mit einem falschen Boden versehen sind. Ist es gut abgetropft, so wird es in grobe leinene Tücher geschlagen und nun unter einer Presse möglichst von Flüssigkeit befreit. Die die Presse verlassenden Kuchen haben einen Gehalt von 65—70% Jod. Sie müssen noch durch Sublimation gereinigt werden.

Jod sublimiert nämlich außerordentlich leicht, und so hat schon die alte europäische Industrie dasjenige Jod, welches besonders rein sein sollte, durch nochmalige Sublimation gereinigt; sie bediente sich dazu des nebenstehenden Apparates. Große thönerne oder gußeiserne Retorten werden mit etwa 20 kg zu reinigenden Materials gefüllt. Sie liegen zu je dreien nebeneinander in einem gußeisernen Kasten B in Eisenfeilspäne eingebettet. Auf der Durchschnittfigur sind nur zwei von ihnen sichtbar. Der Hals der Retorten ragt in ein Steinzeuggefäß hinein, in welchem sich das sublimierende Jod in Krystallen ansetzt. Das Rohr D gestattet der sich beim Anwärmen des Apparates ausdehnenden Luft den Austritt. In Chile kommt dagegen das Jod in cylindrischen Eisenretorten zur Sublimation, welche durch ein kleines Kohlenfeuer erhitzt werden. Jede Retorte faßt dort etwa 500 kg Rohjod, und ist mit einer Reihe von acht Steingutkondensatoren verbunden, welche aus acht Röhrenstücken von 1 m Länge und $^1/_2$ m Durchmesser bestehen. Die Verbindungsstellen zwischen diesen sind mit Thon verstrichen, und die letzte Röhre ist mit einem Holzstück geschlossen. Den Prozeß unterhält man etwa fünf Tage, worauf man das Feuer entfernt und erkalten läßt. Die Kondensatoren enthalten dann 330—350 kg Jod von 98% Reingehalt. Es kommt in kleine ausgepichte Tonnen verpackt in den Handel.

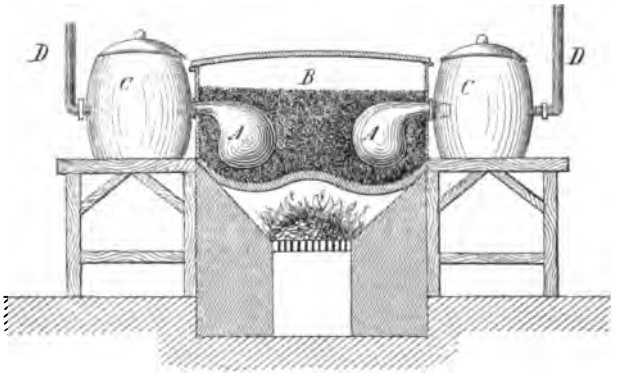
Das Jod gehört zu denjenigen Körpern, welche in außerordentlich kleinen Quantitäten noch nachgewiesen werden können; selbst Spuren von freiem Jod färben sich nämlich mit Stärkelösung blau. Um nun das Jod aus der zu untersuchenden Lösung frei zu machen, setzt man ihr etwas salpetrige Säure zu, welche ähnlich, wie wir es von der technisch verwerteten schwefligen Säure sahen, es aus seinen Verbindungen abscheidet. Man erkennt das Jod so noch in Lösungen, die in dreihunderttausend Teilen einen Teil Jod

enthalten, mit voller Sicherheit. Daher kann es uns nicht wunder nehmen, daß es spurenweise in Hunderten von Mineralquellen und Salzsolen nachgewiesen worden ist.

Das Jod und seine Präparate haben, seitdem man es kennt, eine sehr große Rolle in der Medizin gespielt, obgleich man sich den Grund seiner Wirksamkeit bis zum Ende des Jahres 1895 nicht zu erklären wußte.

Das Jod dient in 10 Teilen Spiritus gelöst als Tinctura Jodi zur Behandlung äußerer Erkrankungen, indem es ätzend wirkt. Statt der Lösung in Spiritus verwendet man auch eine solche in Jodkaliumlösung. Während das Jod nämlich in Wasser so gut wie unlöslich ist, löst es sich leicht in einer Lösung von Jodkalium. Diese Lugolsche Lösung wird erhalten durch Auflösen von ein Teil Jod und ein Teil Jodkalium in zehn Teilen Wasser.

Eine weit größere Rolle als das Jod selbst spielt in der Medizin das Jodkalium, das seit dem Jahre 1832 dem Arzneischatz einverleibt worden ist. Das Jodkalium wird aus dem Jod nach dem gleichen Verfahren dargestellt, wie das Bromkalium aus dem Brom. Man verreibt Jod mit Wasser und Eisenspänen, wobei sich rasch Jodeisen bildet. Die Lösung desselben filtriert man vom überschüssigen Eisen ab, und setzt ihr Pottasche also kohlensaures Kali zu. Es bildet sich unlösliches kohlensaures Eisen, während die Lösung jetzt Jodkalium enthält, aus der es nach dem Eindampfen auskryställisiert. In neuerer Zeit wird statt des Jodkaliums häufig Jodnatrium verschrieben. Kalisalze sind nämlich dem menschlichen Körper nicht übermäßig zuträglich, während der Mensch Natriumsalze in beliebigen Mengen verträgt, wir brauchen ja nur an das Kochsalz (Chlornatrium) zu denken. Man vermeidet daher bei manchen Erkrankungen lieber die Zufuhr von Kalisalzen und verschreibt die entsprechenden Natriumverbindungen.



424. Jodsublimation.

Seitdem der französische Arzt Coindet das Jod und seine Präparate in der ersten Hälfte des Jahrhunderts als Mittel gegen den Kropf empfohlen hatte, und sich seine Wirksamkeit gegen diesen bewährte, wird es auch bei Anschwellungen aller Art verwendet. Worauf seine zweifellose Wirksamkeit bei Kropf speziell beruhe, wußte man also nicht zu deuten, bis es an dem bereits erwähnten Zeitpunkte dem Professor Baumann in Freiburg gelang, zu zeigen, daß in der normalen Schilddrüse des Halses, durch deren Vergrößerung der Kropf zustandekommt, stets Jod vorhanden ist. Das Jod gehört, was man bis dahin nicht wußte, also zu den normalen Bestandteilen des Körpers, der es sich aus den nicht mehr nachweisbaren Spuren, in denen es sich in vielen Nahrungsmitteln finden muß, heraussucht.

In einem Gramm normaler trockener Schilddrüse finden sich im Durchschnitt 0,9 mg Jod oder 0,09 % von ihm, während der Durchschnitt in kropfartig vergrößerten Schilddrüsen nur 0,09 mg oder 0,009 % Jod beträgt.

Weiter gelang es Baumann im Anschluß an diese Entdeckung aus der Schilddrüse eine stark jodhaltige Substanz zu extrahieren, Thyrojodin oder auch Jodothyrin genannt, die 9,3 % Jod enthält. Sie hat ihren Namen von der Thyreoidea, welches der wissenschaftliche Name der Schilddrüse ist, erhalten. Daß dieses Thyrojodin der wirksame Bestandteil in ihr ist, zeigte die prompte Wirkung des Präparates bei Kropferkrankungen. So haben denn die Farbenfabriken von Friedrich Baeyer & Co. in Elberfeld seine Darstellung im Großen übernommen. Sie gewinnen es aus den Schilddrüsen der Hammel, die besonders reich an ihm sind. Hier sehen wir so recht Wissenschaft und technische Chemie

Hand in Hand gehen, keine drei Monate, nachdem Baumann die Darstellung des Thyrojodins gelehrt hatte, stellte diese Fabrik den Ärzten und damit der leidenden Menschheit dieses merkwürdige Präparat zur Verfügung.

Die Ein- und Ausfuhr des Deutschen Reiches betrug 1896

	Einfuhr	Ausfuhr
an Jod	93800 kg	26400 kg
an Jodkalium und anderen Jodpräparaten	28500 „	141800 „

Jod, dessen Preis ein sehr schwankender ist, kostete im Jahre 1897 per Kilogramm etwa 26 Mark.

Der Salpeter und die Salpetersäure.

Wir sahen im Vorhergehenden, bei Betrachtung des Verhältnisses der Pottasche zur Soda, wie Kali und Natronverbindungen einander ähneln, wie sie sogar in vielen Industrien sich gegenseitig vertreten können, ja die billigeren Natronverbindungen die ehemals gebrauchten teureren Kaliverbindungen geradezu verdrängen, und merkwürdigerweise finden wir beim Salpeter, zu dem wir jetzt kommen, wiederum ähnliches. Salpeter nennt man die beiden Salze, die durch Vereinigung der Salpetersäure mit den Basen Kali und Natron entstehen, und unterscheidet sie als Kali- und Natronsalpeter.

Der Kalisalpeter findet sich überall im Boden, und welche Rolle er in der Ernährung der Pflanzen spielt, werden wir bei der Besprechung der künstlichen Düngemittel kennen lernen. Wie er aber in den Boden kommt, und sich immer wieder von neuem in ihm bildet, das ist eine Frage, die erst in den letzten zwei Jahrzehnten allmählich ihre richtige Deutung gefunden hat.

In der Salpetersäure, also dem einen Rest des Salpeters, ist Stickstoff mit Sauerstoff verbunden. Der Stickstoff ist aber ein so indifferentes Gas, d. h. so wenig geneigt, Verbindungen mit anderen Stoffen einzugehen, daß es im Laboratorium auf rein chemischem Wege nur unter wenigen Bedingungen gelingt, ihn mit Sauerstoff zu vereinigen, Bedingungen so komplizierter Art, daß mit ihrer Hilfe das Vorkommen von Salpeter in jedem Ackerboden unerklärlich ist. Die Aufklärung dieser Thatsache hat die jüngste aller Wissenschaften gebracht, nämlich die Bakteriologie. Sie hat gezeigt, daß in allen Ackerböden Bacillen mit der merkwürdigen Eigenschaft sich finden, Stickstoff mit Sauerstoff durch ihre Lebensthätigkeit vereinigen zu können, worüber wir ebenfalls Näheres weiterhin bei der Pflanzenernährung hören werden.

Nun ist ja heute allgemein bekannt, daß Bacillen zu ihrer kräftigen Entwickelung außer dem geeigneten Nährboden auch einer gewissen Temperatur bedürfen, und so geht denn die Salpeterbildung, die von ihnen veranlaßte Vereinigung von Stickstoff und Sauerstoff, und weiter deren Verbindung mit dem im Boden vorhandenen Kali zu Kalisalpeter am schnellsten in heißen Ländern vor sich. Spezielle Versuche haben ergeben, daß dieser Prozeß unter 5° Wärme nicht mehr stattfindet. Bei 37° ist er am lebhaftesten, während er bei 45° nicht reichlicher als bei 13° erfolgt und bei 55° überhaupt aufhört.

Danach wird es uns nicht wunder nehmen, daß im Boden der Länder der heißen Zone sich mehr Salpeter bildet, als bei uns, wodurch er leichter aus ihm gewinnbar ist. So ist von alters her der Kalisalpeter hauptsächlich von Ostindien geliefert worden. Man nimmt an, daß er um 500 n. Chr. zuerst in größeren Mengen nach dem Abendland, speziell nach Byzanz, gekommen ist. Bei dem geringen Interesse, das er ursprünglich bot, sind jedenfalls ältere europäische Nachrichten über ihn nicht erhalten.

Selbst in Indien sind es aber auch nur gewisse Gegenden, in denen der Boden reich genug an Salpeter wird, um seine Gewinnung lohnend erscheinen zu lassen, namentlich einige Teile Bengalens und Ceylons liefern ihn. Der Boden muß natürlich nicht zu arm an Alkali sein, damit die Bildung von Salpeter überhaupt vor sich gehen kann, und anderseits hat man schon früh gemerkt, daß die Salpeterbildung beschleunigt wird, wenn man stickstoffhaltige Abfälle, wie z. B. Urin und Mist, auf solchen Boden bringt, wodurch wie wir jetzt verstehen können, die Thätigkeit der Bacillen erleichtert wird.

Dabei schwankt der schließliche Gehalt des Bodens an salpetersaurem Salz bedeutend, außer salpetersaurem Kali bildet sich auch namentlich stets salpetersaurer Kalk. So enthielten bengalische Salpetererden z. B. von 0,7 bis 8,3 % salpetersaures Kali und daneben 0,9 bis 3,7 % salpetersauren Kalk.

Die Gewinnung des Salpeters aus dieser Erde erfolgt seitens der Eingeborenen durch Extrahieren derselben mit Wasser. Sie lassen die erhaltene Lauge an der Sonne verdunsten, oder dampfen sie bis zur Krystallisation ein. Nur an einigen Orten geben sie dem auszulaugenden Erdreich Holzasche zu, indem sie bemerkt haben müssen, daß das die Ausbeute an Salpeter vermehrt. Holzasche enthält, wie wir ja wissen, kohlensaures Kali, kommt dieses mit salpetersaurem Kalk zusammen, so bilden sich nach der Gleichung

Salpetersaurer Kalk + kohlensaures Kali = salpetersaures Kali + kohlensaurer Kalk

$$Ca(NO_3)_2 + K_2CO_3 = 2KNO_3 + CaCO_3$$

salpetersaures Kali, also der gewünschte Salpeter, während der im Wasser unlösliche kohlensaure Kalk, welcher außerdem entsteht, im Rückstand bleibt. Das Produkt, welches die Eingeborenen so erzielen, hat natürlich einen sehr wechselnden Gehalt an reinem Salpeter, und dieser schwankt zwischen 45 und 70 %. In ganz ähnlicher Weise, wenn auch in sehr viel geringerer Menge, wird Salpeter in Ägypten, Persien, Spanien und sogar in Ungarn in der Gegend von Debreczin gewonnen.

Die Hauptverwendung hat der Kalisalpeter von jeher zur Schießpulverfabrikation gefunden, worauf wir im nächsten Abschnitt kommen, und so lag den europäischen Staaten sehr viel daran, sich von Indien als Lieferungsquelle unabhängig zu machen, da die Seewege gerade in Zeiten des Krieges leicht gesperrt werden konnten. Am schlimmsten war in der Beziehung Frankreich daran, als es zu Ende vorigen Jahrhunderts mit aller Welt im Kriege lag — von welchem Einfluß diese Verhältnisse auf die Entwickelung der Sodaindustrie waren, haben wir schon erfahren — und so entwickelte sich auch namentlich in Frankreich die Gewinnung von Salpeter aus einheimischen Plantagen. In ihrer Glanzzeit soll diese Fabrikation an 6000 Orten betrieben worden sein und bis 8 Mill. Kilogramm Salpeter jährlich geliefert haben. Solche europäischen Salpeterplantagen bestanden aus einem weiten Raum, den man zur Abhaltung des Regens mit einem Holzdach versah. Unter diesem lag die Erde, welche, um sie recht locker und damit für die Luft leicht durchgängig zu haben, mit Bauschutt und ähnlichem gemischt war. Außerdem setzte man ihr Holzasche als Lieferanten für das nötige Kali zu und begoß sie häufig mit Urin und Jauche. Man sieht, man stellte das künstlich her, was in Indien die Natur zur Verfügung stellt. Schon nach einem Jahre konnte sich so viel Salpeter gebildet haben, daß das Auslaugen lohnte. Die ausgelaugte Erde lieferte, nach erneutem Lagern, wiederum Salpeter und war meist erst nach 8 Jahren erschöpft.

Die Schwierigkeit dieser Fabrikation lag einmal in der Langsamkeit des Verfahrens, und dann in der Aufgabe, ungeheure Massen von Erde zur Gewinnung von verhältnismäßig wenig Salpeter auslaugen zu müssen. Zur Gewinnung von 100 kg Salpeter per Jahr waren durchschnittlich die einjährige Lagerung von wenigstens 570 cbm oder etwa 860000 kg Erde notwendig. So rationell daher auch, das läßt sich nach den vorhandenen sehr genauen Beschreibungen nicht leugnen, das Auslaugen betrieben wurde, kostspielig mußte es immer bleiben. Dazu kam, daß die aus diesen Haufen erhaltene salpeterhaltige Lauge reichlich mit sonstigen löslichen Salzen verunreinigt war, die die Reindarstellung des Salpeters erschwerten, und so kann es denn nicht wunder nehmen, daß diese europäische Fabrikation in der Friedenszeit, die nach dem Jahre 1815 eintrat, infolge der wieder ungehinderten Einfuhr des ostindischen Salpeters zum Erliegen kam.

Für die Schießpulverfabrikation wird der Salpeter im Stadium der größten Reinheit verlangt. Die „Raffination" des Salpeters muß soweit wie möglich getrieben werden, indem schon ganz geringe Mengen von anhängenden fremden Salzen ein Feuchtigkeit anziehendes Pulver geben würden. Früher verließen sich daher die Pulverfabriken gar nicht auf fremde Raffinieranstalten, sondern besorgten sich selbst seine Reinigung. Heutzutage allerdings ist raffinierter Kalisalpeter von solcher Reinheit im Handel, daß die Pulverfabriken ihn ohne weiteres verwenden können. Außer zu Schießpulver dient

der Kalisalpeter noch in der Feuerwerkerei und als Zusatz zum Salz beim Einpökeln des Fleisches. Früher fand er auch als solcher mehr Anwendung in der Medizin als gegenwärtig. Er galt als harntreibend und steinlösend und wurde auch als kühlendes und fieberwidriges Mittel benutzt. Dagegen wird er jetzt noch viel in Form von Salpeterpapier gegen Asthma verwendet, indem die Dämpfe von verglimmendem Filtrierpapier, das mit seiner Lösung getränkt und hernach wieder getrocknet worden ist, bei ihrem Einatmen dem Kranken Linderung verschaffen.

Zur Reinigung des Rohsalpeters, zu seiner Raffination, benutzt man die verschiedene Wasserlöslichkeit des Salpeters und der ihn begleitenden Salze. Man bringt z. B. in 600 l siedenden Wassers 1500 kg von ihm. Diese Wassermenge genügt wohl zur Lösung allen Salpeters, aber ihn begleitendes Kochsalz und andere Salze bleiben ungelöst. Sollte in ihm salpetersaurer Kalk enthalten sein, so gibt man aus dem oben angegebenen Grunde etwas Pottaschelösung zu. Die erhaltene Lauge wird sodann vom ungelöst Gebliebenen abgezogen und mit der Hälfte Wassers verdünnt. Man setzt ihr jetzt auf je 3000 kg in Arbeit genommenen Salpeter 1 kg in heißem Wasser gelösten Leim zu. Das gibt bei erneutem Sieden der Flüssigkeit Veranlassung zur Bildung eines Schaumes, indem der Leim sich mit den braunen organischen Stoffen, welche die Lösung enthielt, in dieser Form abscheidet. Ist aller Schaum abgeschöpft, so läßt man die heiße Flüssigkeit durch längeres Stehen sich klären und sodann in flache Krystallisiergefäße fließen. Der Boden dieser Krystallisiergefäße ist, um das Herauskrücken des Salpetermehls zu erleichtern, nicht eben, sondern senkt sich von beiden Seiten her nach der Mitte zu, wie aus der Abbildung ersichtlich ist.

425. Krystallisiergefäß für Salpeter.

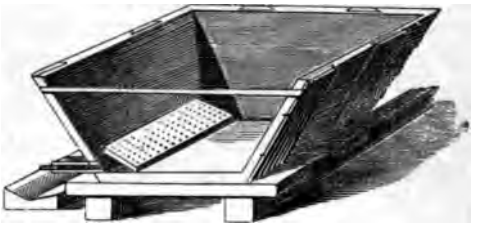
In diesen Gefäßen soll sich ein namentlich von Kochsalz womöglich ganz freier Salpeter ausscheiden, und so fügt man der heißen Lauge eine durch die Erfahrung festgestellte Menge kalten Wassers zu. Durch diesen einfachen Kunstgriff erreicht man es, daß während der jetzt beginnenden Krystallisation sich nur Salpeterkrystalle und kein Kochsalz abscheidet, indem die vergrößerte Wassermenge genügt, dieses ganz in Lösung zu halten.

Um den Salpeter als feines Krystallmehl zu erhalten, wird die Flüssigkeit, während sie sich abkühlt, fortwährend gerührt. Gibt sie nach mehreren Stunden keine erwähnenswerte Menge von Krystallen mehr her, so wandert die Mutterlauge zur Rohlauge zurück, dient also mit zum Auflösen neuer Salpetermengen, während man das ausgekrückte Krystallmehl abtropfen läßt und es dann in die Waschkästen gibt. Dies sind große, nach dem Boden hin enger werdende Kasten mit Löchern über demselben, welche am Boden einen Hahn zum Ablassen von Flüssigkeit haben. Ist in ihnen der Rest der Mutterlauge möglichst abgetropft, so gießt man reines Wasser auf das Mehl. Dieses wird sich mit Salpeter sättigen, aber auch zugleich die ihm noch anhaftenden geringen Mengen fremder Salze lösen. Die Waschungen werden nach Bedarf so lange wiederholt, bis in der abfließenden Lauge sich Chlor nur noch in Spuren nachweisen läßt. Ist dieser Punkt erreicht, so ist der Salpeter als technisch frei von Kochsalz zu betrachten. Die letzten Waschwasser, welche sich als fast chlorfrei erweisen, dienen hernach an Stelle des ersten Wasseraufgusses als Waschwasser für neue Mengen Salpetermehl, indem eine mit einem Salz gesättigte Lösung von einem anderen Salze trotzdem noch große Mengen zu lösen vermag. In diesem Falle wird also die gesättigte Salpeterlösung aus dem Mehl keinen Salpeter mehr aufnehmen, was sehr erwünscht ist, wohl aber wird sie ihm sein Kochsalz entziehen.

Das möglichst ausgewaschene Salpetermehl trocknet man unter beständigem Rühren auf beheizten Metallplatten, damit es sich nicht zu Klumpen vereinigt, worauf es Handels-

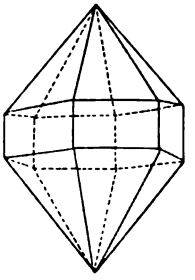
ware ist. Im Kleinverkauf findet der Salpeter aber meist in Form größerer Kryställe Absatz. Diese erhält man, indem man Salpetermehl in heißem Wasser bis zur Sättigung löst und die Lösung ungestört erkalten läßt. Ihre Kryställform zeigt die beistehende Abbildung.

Wir kommen nunmehr zum Natronsalpeter. Während die Natur, wie wir erfahren haben, ununterbrochen kleine Mengen salpetersauren Kalis im Boden schafft, die den ganzen Salpeterbedarf der älteren Zeit decken mußten, hat sie, namentlich in Südamerika, ganz unerschöpfliche Quantitäten von salpetersaurem Natron aufgespeichert, und seitdem man dieses in salpetersaures Kali verwandelt, hat Ostindien seine dominierende Stellung als Lieferant für letzteres völlig eingebüßt. Es sind zwar einige Theorien aufgestellt worden, welche das massenhafte Vorkommen von salpetersaurem Natron in jenen Gegenden zu erklären versuchen, keine von ihnen kann aber einen größeren Anspruch auf Wahrscheinlichkeit machen, und so wollen wir lieber gleich, ohne uns auf diese einzulassen, zur Schilderung der amerikanischen Gegend übergehen, in der die Natur soviel Natronsalpeter aufgehäuft hat.



426. Waschkasten zur Salpeterbereitung.

Der Strich Landes, in dem die Salpetergewinnung betrieben wird, liegt an der Westküste Südamerikas zwischen dem vierten und zehnten Breitengrade. Die Lager erstrecken sich in einer Länge von über 3600 km an der Küste von Peru, Bolivia und einem Teil von Chile. Dieser ganze Streifen entbehrt fast völlig des Regens, der wohl sonst viel Salpeter aus dem Boden weggewaschen hätte, und außer dem Mangel an meteorischen Wässern haben die heftigen, in den Wintermonaten zu Orkanen anschwellenden Stürme keinen höheren Pflanzenwuchs aufkommen lassen, so daß die Gegend einen sehr öden Eindruck macht. Die wenigen Flüsse erhalten ihr Wasser, abgesehen von 1—2 Regenschauern im Jahre, nur von den in den Kordilleren herabschmelzenden Schneemassen. Die den Natronsalpeter enthaltenden Mineralien heißen Caliche und liegen etwa 1—10 m tief unter der Oberfläche. Bald gleichen sie Stücken von Zuckerhüten, bald Schwefelanhäufungen, wieder andere sind weiß mit bläulichen Adern. Heißes Wasser löst mit Leichtigkeit ihren Salpetergehalt. Die Gewinnung des Rohmaterials wird oft so betrieben, daß man einen Schacht bis unter die Caliche treibt, den hier liegenden Sand herausbefördert und den so erhaltenen leeren Raum mit Schießpulver füllt. Dessen Explosion fördert dann das wertvolle Mineral zu Tage, das mit den Händen zusammengesucht und zur Fabrik gefahren wird.

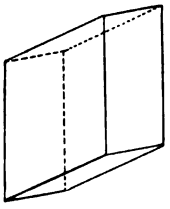


427. Kryställform des Kalisalpeters.

In dieser wird die Caliche entweder mit der Hand oder mittels Dampfkraft zerschlagen, worauf das Material früher in Pfannen direkt mit Wasser ausgekocht wurde. An die Stelle dieser Methode trat dann das Auskochen der mit Wasser übergossenen Caliche in offenen Gefäßen durch direktes Einleiten von Dampf. Auch diese Methode ist als nicht zweckmäßig wieder verlassen worden, und man arbeitet jetzt z. B. in den gut eingerichteten Fabriken der chilenischen Provinz Tarapaca in folgender Art. Zur Versiedung des salpeterhaltigen Rohmaterials dienen geschlossene viereckige Kessel von ungefähr 11 m Länge, 1,85 m Höhe und 1,85 m Breite, in welche das Rohmaterial in durchlöcherten Wagen auf einem Schienengeleise eingeführt wird. Diese Karren verbleiben während der Versiedung in den Kochkesseln und enthalten nach Beendigung der Kochung die gröberen unlöslichen Rückstände des Rohmaterials. Die Heizung der Kessel geschieht durch in ihnen liegende Röhren, in denen Dampf zirkuliert. Da bei dieser Art des Auflösens keine Verdünnung der Laugen mehr wie früher durch direkt in sie eintretenden Dampf statt hat, ist es möglich geworden, sowohl konzentriertere Laugen herzustellen, als auch den Fein-

gehalt des Salpeters zu erhöhen. Letzterer Erfolg begründet sich wieder dadurch, daß gleiche Mengen heißer Lauge von verschiedenem Salpetergehalt beinahe die gleichen Mengen Kochsalz mit dem krystallisierenden Salpeter abscheiden, wodurch der Prozentgehalt der Krystalle bei sehr konzentrierten Laugen zu gunsten des Feingehalts des Salpeters beeinflußt wird. Der Natronsalpeter zeigt die beistehend abgebildete Krystallform. Durch Behandeln der heißen Rückstände von der Versiedung mit vorgewärmtem Wasser wird eine zweite brauchbare Lauge erhalten, die an Stelle von Wasser zum Auslaugen einer weiteren Portion dient. Es sind auch neuerdings Versuche gemacht, die Caliche mit Hilfe der von uns schon öfter erwähnten Apparate von Shanks (s. S. 393) auszulaugen, welche eine fast quantitative Gewinnung des Salpeters ermöglichen müßten, doch ist über ihren Erfolg bisher nichts bekannt geworden.

Die Vervollkommnung der Auslaugung im Laufe der Jahre ersieht man aus folgendem. Die aus der Zeit vor 1870 stammenden Rückstände enthalten, der Unvollkommenheit der damaligen Arbeitsmethoden entsprechend, noch 30—40 % Salpeter, die nächste Periode, die etwa bis zum Jahre 1880 reicht, ergab Auslaugungsrückstände mit 16—25 %, während jetzt in den Rückständen nur noch 5—8 % Salpeter bleiben. Nimmt man den mittleren Gehalt aller Rückstände zu 20 % an, und zieht man in Rechnung, daß bei der Auslaugung der Caliche auf etwa 40 % Verkaufsware 60 % Rückstände kommen, so ergibt sich, daß für je 100 Teile in den Handel gebrachten Salpeters 30 Teile in den Auslaugerückständen geblieben sind. Zur Verwertung dieser Rückstände sind zahlreiche Vorschläge gemacht, da die Menge des in ihnen steckenden Salpeters sich 1886 bereits auf 5 Mill. t bezifferte, ohne daß einer derselben sich in der Praxis bewährt hätte.



428. Krystallform des Natronsalpeters.

Um das Jahr 1820 wurden zuerst einige Schiffsladungen Chilisalpeter, so wird der Natronsalpeter im Handel genannt, versuchsweise nach England gebracht, ohne Abnehmer finden zu können, so daß man sie, um nicht Zoll bezahlen zu müssen, ins Meer warf. Nicht besser ging es anfangs mit den nach Nordamerika geschickten Mengen. Allmählich lernte man jedoch den Wert der Ware würdigen, und seit den dreißiger Jahren begann eine regelmäßige Ausfuhr nach England. Hauptverschiffungshafen ist heute Iquique, und die Vorrichtungen zum Beladen der Schiffe mit dem Salpeter sind möglichst vollkommene. Auch nach Hamburg gehen jetzt kolossale Quantitäten von ihm. Zu seinem Transport dienen hauptsächlich Segelschiffe größter Ordnung, welche die Reise vom Verschiffungshafen nach Hamburg in 80 Tagen zurücklegen.

Von der Menge des in Südamerika vorhandenen Salpeters mögen folgende Zahlen einen Begriff geben. Die Schätzung durch von der Regierung bestellte Sachverständige allein des in der Provinz Tarapaca gewinnbaren Salpeters ergab eine Menge von 1 980 630 502 Zentnern, also fast zwei Milliarden Zentnern. Da die chilenische Regierung im Jahre 1887 einen Ausfuhrzoll von rund 28 Pence per Zentner erhob, berechnete sich damals, daß die Aufarbeitung dieser Vorräte allein für die Staatskasse, wenn die Verhältnisse unverändert blieben, im Laufe der Zeit eine Einnahme von über 230 Millionen Pfund Sterling abwerfen würde.

Die Ausfuhr an Chilisalpeter betrug:

Jahr	Tonnen à 1000 kg	Jahr	Tonnen à 1000 kg
1830	935	1870	147 170
1840	11 368	1880	319 000
1850	25 592	1888	760 000

Die Einfuhr ins Deutsche Reich allein betrug 1891 395 653 t, 1896 449 028 t. Der Wert von 100 kg desselben war Ende des Jahres 1896 etwa 15 Mark.

Die außerordentlichen Mengen, in denen der Chilisalpeter in den Handel kommt, neben denen das Quantum des ostindischen Kalisalpeters fast verschwindend erscheint, zeigen schon, daß es für ihn ganz andere Absatzgebiete geben muß, als für jenen. Seine Hauptverwendung findet er denn auch, da er hierfür billig genug ist, als künstliches Düngemittel, worauf wir bei Besprechung dieser näher eingehen werden. Die großen Quanti-

täten, die jährlich von ihm auf die Felder geworfen werden, sind als solche absolut verbraucht und erfordern jährlich ihre Neubeschaffung.

Obgleich der Natronsalpeter nicht zur Schießpulverfabrikation dienen kann, weil mit ihm hergestelltes Pulver zu langsam abbrennt, ist er insofern ein großer Konkurrent des Kalisalpeters, als dieser letztere leicht aus ihm hergestellt werden kann. Außerdem dient er zur Gewinnung der Salpetersäure und damit also indirekt auch zur Herstellung der Schwefelsäure (s. S. 375). Auch zu Glühkohle wird viel von ihm gebraucht, mit der man Eisenbahnabteilungen und ähnliches heizt, unter dem Namen Glühstoff auch plättet. Preßt man nämlich Kohlenklein mit ihm zu Briketts, so werden diese auch ohne äußeren Zug in Brand bleiben, indem der Salpeter den zu ihrem Verbrennen oder Verglimmen nötigen Sauerstoff hergibt, je nach der Menge von ihm, die man zugesetzt hat.

Zu bemerken haben wir noch, daß außer in Südamerika sich Natronsalpeter auch in Transkaspien im asiatischen Rußland findet. Speziell der Boden der Gegend von Schor-Kala ist ziemlich reich an ihm, und seit dem Jahre 1888 haben verschiedene Unternehmer die Ausbeutung dieses Vorkommens in die Hand genommen. Doch scheinen die Eisenbahntransportkosten aus dem Inneren Asiens bis zu den europäischen Verbrauchsplätzen eine lohnende Fabrikation dort noch auszuschließen, wenigstens ist bisher kein asiatischer Natronsalpeter im Handel erschienen.

Wir gehen nunmehr zur Darstellung von Kalisalpeter aus Natronsalpeter über. Zum Unterschied vom ostindischen Salpeter nennt man ihn Konversionssalpeter. Man kann den Natronsalpeter mit den verschiedensten Kalisalzen zu Kalisalpeter umsetzen, so liefert eine Lösung von demselben mit Pottaschelösung zusammen eingedampft salpetersaures Kali, welches auskryställisiert, und kohlensaures Natron, das infolge seiner leichteren Löslichkeit in der Mutterlauge bleibt.

Salpetersaures Natron + Kohlensaures Kali = Salpetersaures Kali + Kohlensaures Natron

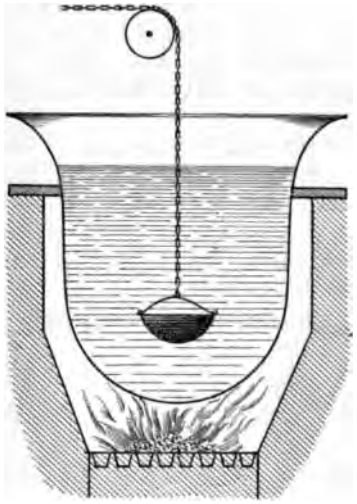
Ebenso erhält man Kalisalpeter, wenn man zur Lösung Ätzkali setzt, in der Mutterlauge hat man dann Ätznatron. Nach dieser teueren Methode ist zuerst gearbeitet worden, indem der Deutsche Nöllner in einer Fabrik zu Stettin während des Krimkrieges für die russische Regierung auf diesem Wege Kalisalpeter aus Chilisalpeter herstellte. Seitdem aber Staßfurt beliebige Mengen Chlorkalium zur Verfügung stellt, benutzt man dieses billigste aller Kalisalze zur Konversion, wie es schon Anthon 1858 vorgeschlagen hat. Löst man salpetersaures Natron in Wasser und gibt eine Lösung von Chlorkalium zu, so tritt keine Umsetzung ein, indem beide Salze gelöst bleiben; das ändert sich aber, wenn man die Lösung durch Eindampfen konzentriert, oder von vornherein mit heißen konzentrierten Lösungen arbeitet. Dann entsteht infolge der verschiedenen Löslichkeit der Salze, die sich in der heißen Flüssigkeit bilden,

Salpetersaures Natron + Chlorkalium = Salpetersaures Kali + Chlornatrium

salpetersaures Kali, welches als leichtlösliches Salz in Lösung bleibt, während das verhältnismäßig schwerlösliche Kochsalz sich sogleich in der Siedehitze auszuscheiden beginnt. Diese Anthonsche Methode, nach welcher im großen ganzen noch heute gearbeitet wird, besteht daher in folgendem. Man erhitzt in einem gußeisernen Kessel so viel oder etwas mehr Wasser, als man salpetersaures Natron in Arbeit zu nehmen gedenkt, und trägt letzteres unter Umrühren ein. Sobald das Eintragen beendigt und die Flüssigkeit ins Kochen gekommen ist, gibt man unter fortwährendem Rühren Chlorkalium hinein und erhält die Mischung eine halbe Stunde im Sieden. Nach dieser Zeit ist die Umsetzung beendigt, und die Flüssigkeit enthält jetzt Kalisalpeter und Kochsalz. Auf 85,2 Gewichtsteile Natronsalpeter sind 74,6 Gewichtsteile Chlorkalium theoretisch notwendig. Die Analyse des Natronsalpeters und Chlorkaliums läßt leicht berechnen, wie viel man von jedem mehr zu nehmen hat, da beide Salze nicht chemisch rein zur Anwendung gelangen.

Die angewandte Menge Wasser genügt gar nicht, um eine klare Lösung zu erhalten, indem sie für die Lösung des sich bildenden Kochsalzes nicht ausreicht. Letzteres schwimmt vielmehr als Krystallmehl in der Flüssigkeit und muß fortdauernd beseitigt werden, damit es sich nicht am Boden ablagert, wodurch das Springen der im Feuer hängenden Kessel

herbeigeführt würde. Diese andauernde Entfernung des Kochsalzes erreicht man dadurch, daß man in dem Siedekessel eine oder mehrere Metallschalen an Ketten aufhängt, wie es auf der Abbildung wiedergegeben ist. Während vom heißen Boden her durch das Sieden die Dampfentwickelung stattfindet, welche das Kochsalz mit in die Höhe reißt, findet natürlich eine Dampfentwickelung in den hineingehängten Metallschalen nicht statt. Sie füllen sich deshalb mit dem in dieselben fallenden Kochsalz, ohne daß es wieder aus ihnen herausgeschleudert wird, und entleert man sie von Zeit zu Zeit, so erreicht man dadurch, daß eine erwähnenswerte Menge von Kochsalz am eigentlichen Kesselboden überhaupt nicht zur Ausscheidung gelangt oder gar dort liegen bleibt. Das heiße Kochsalz füllt man in kleine am Rande des Siedekessels stehende Bottiche, in denen etwas Stroh oder Reisig liegt, über welche eine Leinwand gedeckt ist. Diese Abtropfbehälter haben am Boden einige Löcher und sind so aufgestellt, daß alle abtropfende Flüssigkeit in den Kessel zurückfließt. Es gelingt leicht, durch Auswaschen dieses Salzes anfangs mit Wasser, hernach mit Kochsalzlösung ihm allen Salpeter zu entziehen.



429. Herstellung von Konversionssalpeter.

Inzwischen fährt man mit dem Kochen, dem Beseitigen des niederfallenden Kochsalzes, dem Losstoßen etwaiger am Kesselboden sich anlegender Salzkrusten, dem Auswaschen des Kochsalzes und dem Mitversieden der dabei abfließenden Waschlauge so lange fort, bis die heiße Flüssigkeit im Kessel 40—42° Beaumé zeigt. Nun hört man mit dem Heizen auf, bedeckt ihn, um die Oberfläche nicht zu sehr sich abkühlen zu lassen, und läßt ihn bis zur Klärung der Flüssigkeit, welche etwa sechs Stunden erfordert, stehen. Hierauf zieht man die Lauge mittels Heber in Krystallisiergefäße ab.

In diesen schießt während des Erkaltens der Kalisalpeter an, und zwar ziemlich frei von Kochsalz. Nachdem die Flüssigkeit erkaltet ist und die Salpeterausscheidung nicht mehr zunimmt, wird er herausgenommen. Er enthält jetzt etwa 1% Kochsalz. Man übergießt ihn deshalb in Waschbottichen mit Wasser, das man nach 24 Stunden ablaufen läßt, wodurch der Gehalt an Kochsalz auf $^1/_5$% zurückgeht. Zu seiner völligen Reinigung wird er nochmals aus heißem Wasser umkrystallisiert.

Das Verfahren hat jetzt insofern manche Abänderung erfahren, als man sich meist statt des direkten Feuers zum Kochen der Laugen des Dampfes bedient, und die langsam arbeitenden Abtropfgefäße für das ausgeschiedene Kochsalz durch Zentrifugen (s. S. 341) ersetzt, welche eine rasche und gründliche Entfernung der Mutterlauge ermöglichen. Auch hat man besondere mechanische Rührwerke, um den raffinierten Salpeter statt in Krystallen als Mehl zu erhalten.

Bevor wir zur Darstellung der Salpetersäure aus Salpeter übergehen, haben wir noch zwei weitere, technisch sehr wichtige Verbindungen, das salpetrigsaure Kali und das salpetrigsaure Natron zu besprechen.

Die Salpetersäure besteht, wenn wir sie chemisch genau definieren, aus einem Atom Stickstoff, drei Atomen Sauerstoff und einem Atom Wasserstoff, ihre Formel ist also NO_3H. Nun gibt es auch eine Säure, die um ein Atom Sauerstoff ärmer ist, also die Formel NO_2H hat, die den Namen salpetrige Säure führt. Da Stickstoff sich mit Sauerstoff in sehr verschiedenen Verhältnissen zu verbinden vermag, ist es schwer, speziell diese Säure zu erhalten, gerade sie wird aber in der Anilinfarbenindustrie gebraucht, und hier hat man trotzdem ihre sichere Handhabung in folgender Weise erreicht.

Wenn auch die Darstellung von salpetriger Säure, die frei von anderen Sauerstoffverbindungen des Stickstoffes sein soll, sich kaum ermöglichen läßt, so gelingt es doch unschwer, salpetrigsaure Salze in reinem Zustande darzustellen. Man kann nämlich dem

Kalisalpeter oder dem Natronsalpeter, und letzterer wird seiner größeren Billigkeit halber heute allgemein benutzt, ziemlich leicht genau ein Sauerstoffatom entziehen, dann muß doch das salpetersaure Salz in salpetrigsaures Salz übergehen:

Salpetersaures Natron	— Sauerstoff	= Salpetrigsaures Natron
NO_3Na	— O	= NO_2Na.

Das salpetrigsaure Natron ist leicht in Wasser löslich, und fügt man zu dieser seiner Lösung eine in chemischem Sinne stärkere Säure, so wird letztere sich mit dem Natron verbinden und im Wasser jetzt salpetrige Säure vorhanden sein.

Salpetrigsaures Natron	+ Salzsäure	= Salpetrige Säure	+ Chlornatrium
NO_2Na	+ HCl	= NO_2H	+ NaCl.

So erhält man auf diesem indirekten, technisch sehr bequemen Wege eine Flüssigkeit, die sicher nur salpetrige Säure enthält, und ebenso sicher frei von sonstigen Stickstoffsauerstoffverbindungen ist.

Es handelt sich jetzt nur um die Entscheidung der Frage, welches das beste Mittel ist, um dem Salpeter das eine Atom Sauerstoff zu entziehen. Dieses Mittel scheint metallisches Blei zu sein, welches sich, mit dem Salpeter geschmolzen, zu Bleioxyd oxydiert, während dieser in salpetrigsaures Salz übergeht.

$NaNO_3$	+ Pb	=	$NaNO_2$	+ PbO
Salpetersaures Natron	+ Blei	= Salpetrigsaures Natron		+ Bleioxyd.

Man verfährt so, daß man das salpetersaure Kali oder salpetersaure Natron in flachen Eisenschalen einschmilzt und nun allmählich das gleiche Gewicht metallischen Bleis zusetzt. Dieses schmilzt ebenfalls und geht allmählich in Bleioxyd über. Ist etwa die Hälfte des salpetersauren Salzes in salpetrigsaures Salz verwandelt, was bei Verwendung von einem Gewichtsteil Blei auf einen Teil Salpeter eintritt, so hört man mit der Zugabe von Blei auf, indem jetzt mit steigender Temperatur Nebenreaktionen beginnen, welche eine vollständige Zerstörung des Salpeters herbeiführen würden. Weil das salpetrigsaure Salz in starkem Alkohol löslich ist, während dieser den Salpeter nicht löst, gelingt dann durch Extraktion der Schmelze mit Alkohol die Reindarstellung des salpetrigsauren Salzes, das meist in Form schwach gelbgefärbter Kryställe in den Handel kommt.

Früher reduzierten die Fabrikanten des salpetrigsauren Natrons die großen Mengen Bleioxyd, die sie erhielten, mit Kohle wieder zu Blei; heutzutage kaufen aber die Bleizuckerfabriken dieses Bleioxyd, lösen es in Essigsäure und verkaufen dasselbe in Form ihres Fabrikates, des Bleizuckers. Dadurch ist die Herstellung des salpetrigsauren Natrons sehr viel bequemer geworden, indem die für chemische Fabriken umständliche, mehr für Hüttenwerke geeignete Wiedergewinnung des Bleies fortfällt.

Wir gehen nunmehr zur Darstellung der **Salpetersäure** über und wollen über die Säure selbst folgendes mitteilen.

Sicher ist, daß bereits Geber (s. S. 296) sie gekannt hat. Er bereitete sie durch Destillation eines Gemisches von Salpeter mit Vitriol (schwefelsaurem Kupfer) und Alaun (schwefelsaure Kali-Thonerde). In der späteren Zeit erhitzten die Alchemisten zumeist Salpeter mit schwefelsaurem Eisen. Die genannten schwefelsauren Salze geben alle beim Erhitzen Schwefelsäure aus, vom schwefelsauren Eisen haben wir es ja bei der Darstellung der rauchenden Schwefelsäure (s. S. 370) ausführlich kennen gelernt, und diese Schwefelsäure treibt aus dem Salpeter die Salpetersäure aus.

Diese alte, in Form ihrer Ausführung unvollkommene Methode beruht auf derselben Grundlage, nach welcher auch jetzt noch die Salpetersäure dargestellt wird. Heute benutzt man nämlich zur Einwirkung auf den Salpeter nicht die sich während des Prozesses erst bildende Schwefelsäure, sondern mengt ihn direkt mit fertig hergestellter Schwefelsäure.

Daher sind Schwefelsäurefabriken zugleich der geeignetste Ort für die Darstellung der Salpetersäure, zumal sie selbst für einen Teil ihres Fabrikats Abnehmer sind (s. S. 375).

Die Einwirkung der Schwefelsäure auf den Salpeter, als welchen man jetzt natürlich Chilisalpeter nimmt, verläuft so, daß sich neben der Salpetersäure saures schwefelsaures Natron bildet.

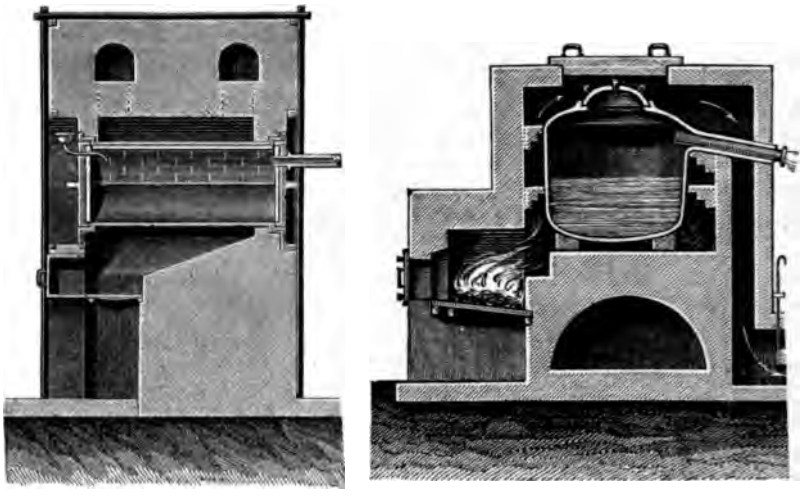
Salpetersaures Natron + Schwefelsäure = Salpetersäure + Saures schwefelsaures Natron
$NO_3Na + H_2SO_4 = NO_3H + NaHSO_4$.

Gewiß ist saures schwefelsaures Natron im stande, noch einmal die gleiche Menge Salpeter zu zersetzen, indem es seinerseits dabei in neutrales schwefelsaures Natron übergeht; diese zweite Reaktion vollzieht sich aber erst bei so hoher Temperatur:

Salpetersaures Natron + Saures schwefelsaures Natron =
$NO_3Na + NaHSO_4$
= Salpetersäure + Neutrales schwefelsaures Natron
$NO_3H + Na_2SO_4$.

daß die Salpetersäure nicht mehr beständig ist, sondern bereits zerfällt. Es ist bei dieser Fabrikation also immer nur möglich, auf saures schwefelsaures Natron hinzuarbeiten, obgleich dadurch der Verbrauch an Schwefelsäure doppelt so groß wird als theoretisch notwendig erscheint. Dies ist auch noch aus dem Grunde unangenehm, weil es für saures schwefelsaures Natron kaum Verwendung gibt, so daß dasselbe sehr niedrig im Preise steht.

In alten Zeiten führte man die Destillation in Glasretorten aus, die man in größerer Anzahl in einem Galeerenofen (s. S. 371) erhitzte. Später hat man dann



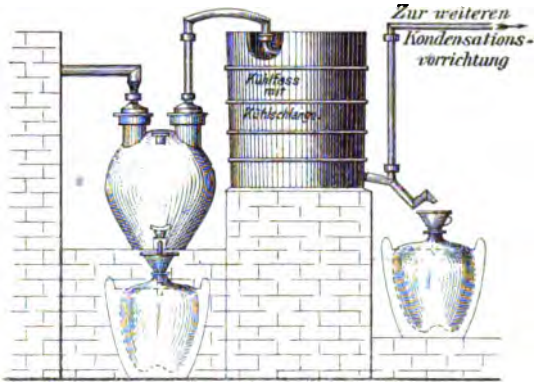
480 u. 481. Apparate zur Darstellung der Salpetersäure.

herausgefunden, daß auch Gußeisen gegenüber den in Betracht kommenden Säuren genügend widerstandsfähig ist, und konnte nun unter Verwendung gußeiserner Retorten der Fabrikation ganz andere Dimensionen geben.

Folgende zwei Formen sollen sich als besonders zweckmäßig bewährt haben und Verwendung finden. Die obere Innenfläche des gußeisernen Cylinders wird mit säurefesten Steinen verkleidet, damit die hinaufgelangenden Salpetersäuredämpfe, welche sich an ihr kondensieren, ihn nicht korrodieren. Verwendet man dagegen Gefäße der zweiten Form, bei denen die Flamme auch den oberen Teil umspült, so daß eine Kondensation der Dämpfe im Kessel nicht stattfinden kann, so ist diese Schutzvorrichtung nicht nötig, da Salpetersäuredämpfe Gußeisen nicht angreifen, sondern nur flüssige Säure dieses thut.

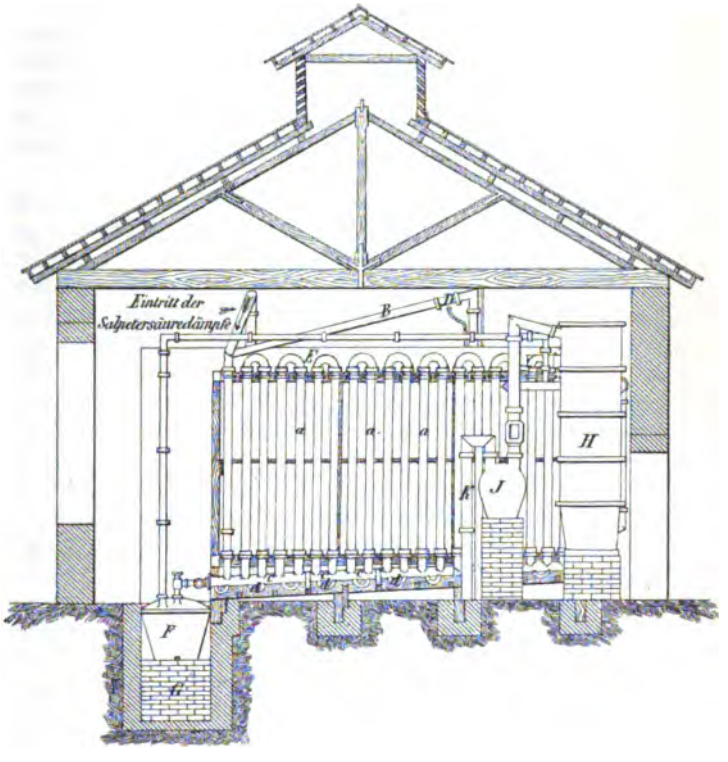
Die bei der Zersetzung des Salpeters mittels Schwefelsäure resultierenden Salpetersäuredämpfe wurden nach älteren Verfahren ähnlich wie bei der Salzsäurefabrikation in einer Reihe von Tourills, die mit einem mit Koks gefüllten Thonturm abschlossen, kondensiert. Nachdem es Ludwig Rohrmann in Krauschwitz, dem wir für die folgenden uns zur Verfügung gestellten Angaben und Abbildungen über die neuesten Methoden der Salpetersäuregewinnung zu großem Danke verpflichtet sind, gelungen war, haltbare Kühlschlangen aus Thon zu erzeugen (s. S. 430), wurde durch die Einführung derselben in die Salpetersäurefabrikation der Kondensationsapparat bedeutend vereinfacht und der

Prozeß selbst beschleunigt. Die so gewonnene Salpetersäure war aber infolge der Verunreinigung durch niedrigere Stickstoff-Sauerstoffverbindung und durch Chlorverbindungen (dem unreinen Salpeter entstammend) gelb gefärbt und für viele Verwendungen untauglich. Zur Entfernung dieser Beimengungen mußte sie hernach erwärmt und Luft durch sie durchgeblasen werden, welche diese Verbindungen mit fortführt.



432. Salpetersäurekondensation.

Durch einen von der chemischen Fabrik Griesheim konstruierten Kondensationsapparat wurde dann die Möglichkeit geschaffen, in einer Operation ein hinreichend reines Produkt herzustellen. Bei ihm gelangen die Salpetersäuredämpfe in einen Rückflußkühler, also einen so aufgestellten Kühler, daß die Dämpfe von unten in ihn eintreten. Indem man nun das Wasser im Kühlfaß etwa 80° warm hält, wird in ihm wohl die Salpetersäure kondensiert, aber die oben erwähnten nebenbei entstehenden Verbindungen werden durch ihn durchgehen. Die aus dem Kühler entweichenden Gase gelangen sodann, um sie nutzbar zu verwerten, in einen Kondensationsturm.



433. Kondensation der Salpetersäure nach Guttmann.

Einen weiteren Fortschritt machte Guttmann, indem er dem Kondensationsapparat, der nebenstehend abgebildet ist, Röhrenform gab und gleichzeitig zur Fortschaffung der Verunreinigungen mittels eines Injektors Luft durch den Apparat trieb. Kirchhof modifizierte dann auf der chemischen Fabrik Hermannia in Schönebeck dieses System dadurch, daß er das aus der Retorte, in welcher die Zersetzung des Salpeters durch Schwefelsäure erfolgt, tretende Gas zunächst durch ein eigenartig konstruiertes, mit Luftsaugestutzen versehenes Rohrstück führt, durch das unter Voraussetzung des genügenden Schornsteinzuges die nötige Luft dem Apparat ohne Injektor zugeführt werden kann, sowie dadurch, daß er spezielle Vorkehrungen trifft, die es ermöglichen, die einzelnen Destillate, je nach ihrer Reinheit und ihrem Stärkegrade gesondert, an verschiedenen Stellen des Apparates aufzufangen. Sowohl das Griesheimer,

wie auch das Guttmannsche Original- und modifizierte System, haben sich vorzüglich bewährt und liefern eine reine und helle Säure. Die Ideen der Erfinder in einem für derartig komplizierte Apparate so schwierig zu handhabenden Materiale wie Thon durchgeführt zu haben, ist eine Leistung Rohrmanns. Auch für die Salpetersäurefabrikation ist der uns von der Schwefelsäurefabrikation her (s. S. 377) bekannte Plattenturm von Wichtigkeit geworden, indem es mittels desselben gelingt, die aus den üblichen Kondensationsapparaten entweichenden niederen Stickstoff-Sauerstoffverbindungen durch reichlich zugeführte Luft möglichst weit zu oxydieren und so auch sie noch in Form von Salpetersäure bis zu einer Stärke von 40° zu erhalten.

Die große Anzahl der für die Luftkühlung bei Guttmann nötigen Röhren a hat man neuerdings auf den vierten Teil vermindert, indem man sie mit einem Holzkasten umbaut, durch den man kaltes Wasser laufen läßt. Diese 2,5 m langen Röhren, welche durch die Bogenröhren E miteinander verbunden sind, münden in das schräg liegende Kammerrohr C, welches so in Kammern geteilt ist, daß die Gase nie direkt in die zweite, dritte u. s. w. Kammer übertreten können, vielmehr gezwungen sind, immer die langen Kondensationsröhren zu passieren. Dagegen ist der in den Röhren kondensierten Säure durch die unterhalb des Kammerrohres befindlichen Bogenröhrchen d der Übertritt gestattet, wodurch ihr kontinuierlicher Ablauf nach dem Sammelgefäß F stattfindet. Durch den Injektor D wird Luft von etwa 80° Celsius durch das Rohr B in die Batterie geblasen. H ist ein Plattenturm, welcher die Restgase vollends kondensiert. Die Verbindung mit dem Schornsteine ist durch I und K ersichtlich. Der Apparat liefert die Salpetersäure in einer Stärke von 96—97% (1,505—1,508 spez. Gewicht), und der Plattenturm die hierbei in ihn gelangenden 5% der Ausbeute, in der Regel also, als 40 prozentige Säure. Die Chargen können bei der Vollkommenheit der Kondensation in weniger als der Hälfte der sonst gebräuchlichen Zeit abgetrieben werden, indem 600 kg Nitrat nur 12 Stunden erfordern. Eine etwas abweichende Art der Salpetersäurefabrikation lernen wir noch bei der Herstellung des Nitroglycerins kennen.

An die Salpetersäure wollen wir nunmehr die weitere Besprechung des Königswassers (s. S. 296) anreihen. Diese Flüssigkeit mit dem geheimnisvollen Namen ist also heutzutage ein Gemisch von drei Teilen konzentrierter Salzsäure und einem Teil konzentrierter Salpetersäure. Die Art der Alchemisten, sich Königswasser zu bereiten, bestand darin, daß sie in Salpetersäure Kochsalz (Chlornatrium) oder Salmiak (Chlorammonium) lösten. Indem die Salpetersäure sich dabei teilweise mit dem Natrium oder Ammonium verband, machte sie aus diesen Zusätzen die Salzsäure frei, entstand so ein Gemisch von Salpetersäure und Salzsäure. Aber nicht weniger als die goldlösende Kraft des Gemisches imponierte ihnen, daß es selbst Schwefel zu verzehren vermochte, jenen Schwefel, auf den sie so große Hoffnung setzten, mit dem sie so gern experimentierten (s. S. 299 u. 374). Der Schwefel wird hierbei zur Schwefelsäure oxydiert. Für uns sind diese Vorgänge heute alle leicht erklärbar und verständlich, aber wie sollte ein Alchemist zu klaren Vorstellungen kommen, weshalb das Scheidewasser, welches das Gold nicht löst, durch Zugabe von Kochsalz plötzlich auch dieses widerstandsfähige Metall bezwinge. Der Grund für die lösende Kraft des Königswassers ist folgender. Der Wasserstoff der Salzsäure verbindet sich mit dem Sauerstoff der Salpetersäure. So wird freies Chlor disponibel, und dieses Chlor ist es, welches das Gold auflöst, den Schwefel verzehrt.

Wir erhalten daher schließlich das vom Königswasser gelöste Gold als Goldchlorid, welches für die Zwecke der Photographie jetzt in größeren Massen dargestellt wird. Dieses Salz ist eine rote blätterig krystallinische Masse, die an der Luft rasch zerfließt, indem sie Feuchtigkeit aus ihr anzieht. Man benutzt deshalb, um dieser Unbequemlichkeit zu entgehen, seine Eigenschaft, mit anderen Chlormetallen zusammen zu krystallisieren und mit ihnen an der Luft haltbare Krystalle zu bilden, zur Gewinnung eines bequemer zu handhabenden Präparates. So krystallisiert es mit Chlornatrium zusammen als vollkommen an der Luft beständiges Salz. Man stellt diese Verbindung dar, indem man zu der mittels Königswasser erhaltenen Goldchloridlösung die zur Bildung der Krystalle von der Formel $AuCl_3 NaCl$ nötige Menge Kochsalz setzt, die Lösung bis zur Bildung einer

Kryſtallhaut eindampft, worauf das Doppelſalz mit 4 Molekülen Kryſtallwaſſer auskryſtalliſiert. Unter dem Namen Aurum muriaticum natronatum crystallisatum iſt es ehemals auch als Arzneimittel angewendet worden, was aber heutzutage ſo gut wie ganz vergeſſen iſt. Seine jetzige Verwendung findet es alſo in der Photographie. Schon 1860 gab Fordos bekannt, daß eine ſehr verdünnte Löſung von ihm die Eigenſchaft habe, den braunen Ton der Photographien in einen weit angenehmeren blauſchwarzen überzuführen, und da jetzt jede Photographie getönt wird, kann bei der außerordentlichen Ausdehnung, die namentlich die Liebhaberphotographie genommen hat, der Verbrauch und die völlige Wiedervernichtung des metallurgiſch gewonnenen Goldes auf dieſem Wege keine ganz unbedeutende ſein, denn das auf unzählige Abbildungen ſpurenweiſe verteilte Gold iſt doch für alle Zeiten verloren.

Ganz unentbehrlich iſt endlich das Königswaſſer bei der Gewinnung des Platins auch im Großen. Aus dem ſich in der Natur findenden Rohplatin kann nur mit ſeiner Hilfe dieſes Metall gewonnen werden. Das Rohmetall hat meiſt die Form rundlicher Körner, und je 5 kg von ihnen werden z. B. in der Münze zu Petersburg ſo verarbeitet, daß man ſie in Porzellanſchalen mit Königswaſſer übergießt und längere Zeit erhitzt. Wegen des furchtbaren Geruchs der ſich aus kochendem Königswaſſer entwickelnden Dämpfe muß dies unter einem gut ziehenden Abzug geſchehen. Bald ſind alle unedlen Metalle und das Platin gelöſt, während die ſogenannten Platinmetalle (Iridium, Osmium u. ſ. w.) noch der Einwirkung des Königswaſſers widerſtehen. Aus der erhaltenen Löſung wird das Platin in folgender merkwürdiger Weiſe gewonnen.

Platinchlorid, als ſolches iſt es doch in Löſung, hat die Eigenſchaft, mit Salmiak (Chlorammonium) ein Doppelſalz Chlorplatinchlorammonium zu bilden, ſo wie wir eine ähnliche Verbindung eben beim Golde, das Chlorgoldchlornatrium, kennen lernten. Die genannte Platindoppelverbindung iſt aber im Gegenſatz zu jener im Waſſer ſo gut wie unlöslich. Fügt man alſo zu der Platinchloridlöſung eine Löſung von Salmiak, ſo wird ſich Platinſalmiak, wie man die Verbindung kurzweg nennt, ausſcheiden. Trocknet man dieſen und glüht ihn, ſo werden ſich ſein Ammoniakgehalt und ſein Chlorgehalt verflüchtigen, und das Platin wird als ſolches zurückbleiben. Es hat dann die Form eines feinen grauen Pulvers, des ſogenannten Platinſchwammes. Dieſer liefert hierauf im Knallgasgebläſe zuſammengeſchmolzen — andere Feuer vermögen Platin bekanntlich nicht zum Schmelzen zu bringen — das Metall in gießbarer Form. Auf dieſem Wege und mit Hilfe ſeiner ausgezeichneten Schweißbarkeit werden alle die Platingegenſtände hergeſtellt, die wegen ihrer Widerſtandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen und chemiſche Reagenzien der verſchiedenſten Art, eine ſo wichtige Rolle in den Laboratorien namentlich der Chemiker ſpielen, aber doch z. B. auch zur Konzentration der Schwefelſäure in den Fabriken dienen.

Das Schießpulver und die neueren Exploſivſtoffe.

Wir haben den Salpeter ausführlich kennen gelernt und kommen nunmehr zu ſeiner wichtigſten Anwendung, das iſt zur Herſtellung des Schießpulvers. Es wird eine für immer ungelöſte Frage bleiben, wer dieſes erfunden hat; denn die weitverbreitete Annahme, daß es der Mönch Berthold Schwarz geweſen ſei, iſt in keiner Weiſe erwieſen, wenn ihm auch zu Freiburg im Breisgau ein Denkmal in Lebensgröße errichtet worden iſt. Vielmehr kann man mit der größten Wahrſcheinlichkeit annehmen, daß die Erfindung des Schießpulvers ſtufenweiſe gemacht wurde, indem man zuerſt die Eigenſchaft einer aus Salpeter, Kohle und Schwefel hergeſtellten Miſchung ſtark zu brennen — dieſes ſind bis auf den heutigen Tag die drei Beſtandteile des eigentlichen Schießpulvers — herausfand und ſpäter erkannte, daß, wenn dieſes Gemiſch in beſtimmten Gewichtsverhältniſſen hergeſtellt wird, ihm eine fortſchleudernde Kraft innewohnt, daß es explodiert, wie wir heute ſagen.

Wir wollen zum leichteren Verſtändnis des folgenden zuerſt die Gründe für die große Brennbarkeit und für die Brauchbarkeit eines ſolchen Gemiſches als Exploſivſtoff erörtern.

Der Kaliſalpeter hat die Formel KNO_3, und berechnen wir hieraus die Menge des in ihm enthaltenen Sauerſtoffs, ſo ergibt ſich, daß ſie 47,5 % beträgt. Es iſt

vielleicht nicht unangebracht, die sehr einfache Methode, mit deren Hilfe man aus der chemischen Formel der Körper den Prozentgehalt der sie zusammensetzenden Elemente unter Verwendung der Kenntnis der Atomgewichte erfahren kann, bei dieser Gelegenheit darzulegen. Wir wissen von der Einleitung her, daß das Atomgewicht des Kaliums 39, des Stickstoffs 14 und des Sauerstoffs 16 beträgt. Drei Atome Sauerstoff wiegen also 48. Folglich wiegt das Molekül Salpeter KNO_3 39 + 14 + 48 oder 101. In 101 g Salpeter werden also 48 g Sauerstoff enthalten sein, das entspricht 47,5 %. In 101 g Salpeter sind 39 g Kalium enthalten, das entspricht 38,6 %, und die 14 g Stickstoff, die in ihm enthalten sind, entsprechen 13,9 %. Folglich ergibt sich aus der Formel KNO_3, daß Kalisalpeter aus 47,5 % Sauerstoff, 38,6 % Kalium und 13,9 % Stickstoff zusammengesetzt ist.

Der Salpeter ist also sehr sauerstoffreich. Nun beruhen doch auf der Vereinigung mit Sauerstoff alle Verbrennungen. Werden wir daher Kohle und Salpeter mischen, so wird die Kohle, welche, um verbrennen zu können, sonst den Sauerstoff der Luft braucht, jetzt selbst in einem von der Luft ganz oder fast abgeschlossenen Raum brennen können, indem ihr der Salpeter den nötigen Sauerstoff hierzu liefert, wie wir das schon bei der Glühkohle erwähnten (s. S. 441). Während z. B. Kohle in einen Topf gestampft aus Mangel an Luft nicht weiter zu brennen vermag, wenn man dieselbe auch an der Oberfläche angezündet hat, wird also, wenn sich im Topfe eine Mischung von Kohle und Salpeter befindet, dieses Gemisch sich, sobald man ihm mit einer Flamme nahekommt, entzünden und bis auf den Grund des Gefäßes abbrennen. Die Erfahrung der Jahrhunderte hat dann weiter gelehrt, daß speziell ein Gemisch von Salpeter, Kohle und Schwefel sehr rasch und heftig zu verbrennen vermag, und daß, wenn man es nicht in offenen Töpfen, sondern in langen Röhren (z. B. Kanonen) verbrennen läßt, es vor ihm liegende Steine und ähnliches mit großer Kraft und lautem Knall aus den Röhren herausschleudert.

Der Grund für diese seine Kraft beruht nun, in möglichster Kürze gedeutet, darauf, daß die durch den Sauerstoffgehalt des Salpeters verbrennende Kohle in kohlensaures Gas, der verbrennende Schwefel in schwefligsaures Gas übergeht und der Stickstoff des Salpeters als solcher frei wird. Sobald also das Pulver, welches an sich nur einen sehr geringen Platz einnimmt, entzündet wird, bilden sich plötzlich in diesem engen Raume große Mengen von Gas, für welche er nun viel zu klein ist, und die auf jede Weise sich auszudehnen versuchen. Diese die fortschleudernde Kraft des Pulvers richtig erklärende Anschauung, wonach also seine Wirkung auf einer enormen Gasentwickelung beruht, gab bereits van Helmont (s. S. 298) in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts. Der hierbei auftretende Knall erklärt sich durch die gleichzeitig stattfindende starke Erschütterung der Luft.

Spielt sich dieser Vorgang in einem Geschütz ab, so werden die Gase die Kugel aus demselben heraustreiben, indem das aus starkem Metall hergestellte Geschütz als solches dem Druck widersteht. Hat man aber in einem Bergwerk z. B. ein Bohrloch ins Gestein getrieben und läßt in diesem das Pulver explodieren, so wird es seine ganze Umgebung zerreißen, indem das benachbarte Gestein nicht nach Art des Geschützrohres dem Drucke der Gase zu widerstehen vermag.

Da der Salpeter dem Orient entstammt, deuten die ältesten Nachrichten folgerichtig darauf hin, daß zuerst Chinesen Gemische von Kohle und Salpeter bereitet haben, und zwar scheinen ihnen diese lange Zeit nur für Zwecke der Feuerwerkerei gedient zu haben. So heißt es noch in einer deutschen Übersetzung der Reisebeschreibung des Marco Polo: Diese Leute sind Schwarzkünstler, und vermöge ihrer höllischen Kunst verrichten sie die außerordentlichsten und trüglichsten Verzauberungen, welche man je gesehen und gehört hat. Sie lassen Ungewitter aufsteigen mit zuckenden Blitzen und Donnerschlägen und bringen viele andere wunderbare Dinge hervor.

Wann der Salpeter zuerst nach Europa gekommen ist, ist, was ja weiter nicht wunder nehmen kann, nicht bekannt. Da aber die Schriften des klassischen Altertums ihn nicht erwähnen, war das kaum vor dem 4. Jahrhundert der Fall. In Byzanz,

der Hauptstadt des oströmischen Reiches, wohin er auf dem bekannten Handelswege über Ägypten um diese Zeit aus Indien gekommen sein mag, scheint man ähnlich wie in China eine Eigenschaft, die Brennbarkeit von an und für sich verbrennlichen Körpern bedeutend zu erhöhen, ebenfalls herausgefunden zu haben. Die Not der Zeiten ließ wohl dort die Idee aufkommen, sich dieses Mittels im Kriege zu bedienen. Im Arsenal zu Byzanz hat man mit seiner Hilfe dann das hergestellt, was unter dem Namen griechisches Feuer der Schrecken aller Feinde des oströmischen Reiches für Jahrhunderte gewesen ist.

Mit Hilfe der uralten Katapulten und Ballisten warf man brennende, mit griechischem Feuer gefüllte Töpfe bald auf die Feinde persönlich, bald auf die feindlichen Schiffe. Der Inhalt der Töpfe mag ein Gemisch von Salpeter mit Pech und vielleicht auch schon Schwefel gewesen sein. Er brannte derartig heftig, daß es kein Mittel gab, das Feuer zu löschen, bevor der Inhalt der Gefäße völlig ausgebrannt war. Die persönlich von ihm betroffenen Krieger mit ihren furchtbaren Brandwunden müssen auf ihre Umgebung einen erschreckenden Eindruck gemacht haben, und von ihm betroffene Schiffe werden nur selten dem Schicksal des Aufbrennens entgangen sein.

Dieser Vorläufer des eigentlichen Schießpulvers erweist sich sogleich als von größtem Einfluß auf die Weltgeschichte. Mit seiner Hilfe erwehrten sich die Byzantiner der Angriffe der arabischen Flotten und später der vom Norden andringenden barbarischen Völker, so daß hier im Osten Europas eine Art von Fortentwickelung der auf das klassische Altertum fußenden Kultur möglich blieb.

Im äußersten Westen Europas hingegen, wo bei Gibraltar ein leichter Übergang von Afrika her gegeben ist, vermochten die dort wohnenden Europäer, nachdem die Araber auf ihren Eroberungszügen bis zu den Säulen des Herkules gekommen waren und sie zu überschreiten unternahmen, sich ihrer nicht zu erwehren. Hier brachen sie in Europa ein und blieben für sieben Jahrhunderte Herren in einem großen Teile Spaniens.

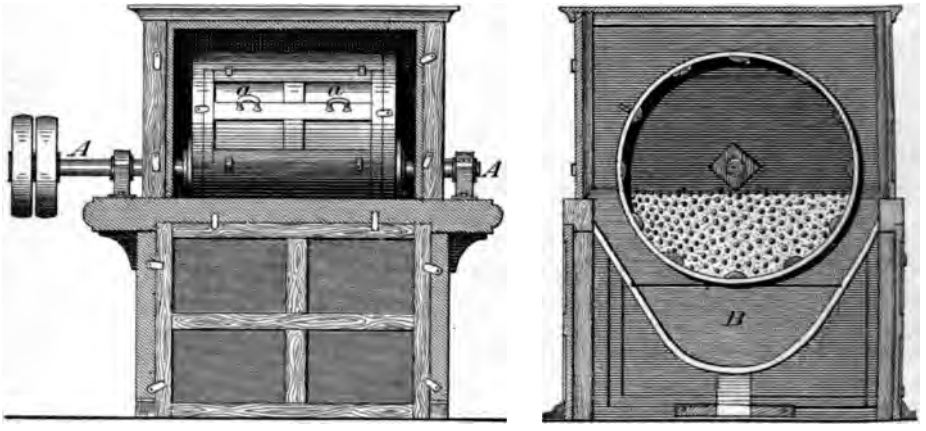
Sehr auffällig ist, daß die Byzantiner das Geheimnis ihres griechischen Feuers über viele Jahrhunderte zu bewahren wußten. Zwar thaten sie das Möglichste zu seinem Schutze, ja sie behaupteten geradezu, ein Engel des Herrn habe einen ihrer Kaiser dieses kostbare Verteidigungsmittel herzustellen gelehrt; trotzdem bleibt es aber wunderbar, daß sie es so lange zu bewahren vermochten. Denn welche Mühe werden sich all die Feinde, die seine furchtbare Wirkung zu spüren bekamen, gegeben haben, um hinter das Geheimnis zu kommen, und zu diesen Feinden gehörten die Araber, unter denen dazu noch zu jener Zeit die größten und tüchtigsten Alchemisten lebten.

Die erste schriftliche Aufzeichnung über Salpetermischungen mit der Bemerkung, daß sie auffallend brennbar sind, finden wir in einem Buche eines Griechen, Namens Marcus, gewöhnlich Marcus Grăcus genannt, von dem das Original verloren gegangen und nur eine lateinische Übersetzung vorhanden ist. Dieses für die Geschichte der Schießpulverfabrikation so wichtige Buch führt den Titel „Liber ignium ad comburendos hostes", Buch von den Feuern, mit denen man die Feinde verbrennen kann. Je nach der Zeit nun, in welche man seine Abfassung verlegt, wird man das allgemeine Bekanntwerden von Mischungen nach Art des griechischen Feuers setzen müssen, und meist wird als die Zeit seiner Abfassung das 13. Jahrhundert angenommen. In ihm findet sich auch eine Vorschrift zur Herstellung von „ignis volans", von fliegendem Feuer. Zu seiner Bereitung solle man ein Pfund recht reinen Schwefel, zwei Pfund verkohltes Linden- oder Weidenholz und sechs Pfund dreifach gereinigten Salpeter in einem Mörser aus Marmor gut verreiben. Gebe man dieses Gemisch in eine Hülse aus Papier, so werde sie nach dem Anzünden unter lebhaftem Geräusch davonfliegen; hier haben wir also die Beschreibung oder eine Vorschrift für unsere heutigen Steigraketen. Von diesem Pulvergemisch wissen auch die Schriften des Albertus Magnus und des Roger Bacon, welch letzterer erzählt, daß man es vielerwärts in Pergamenthülsen thue und zu Spielereien benutze.

Wir sehen, immer ist nur von der Brennbarkeit des Gemisches die Rede, eine Ausnutzung seiner Explosivkraft findet nicht statt. Wie es scheint, haben die Chinesen auch diese zuerst zu verwenden verstanden, denn im Jahre 1259 wird von ihnen „die Lanze des ungestümen Feuers" in folgender Art beschrieben. In ein Bambusrohr wird ein

Pulvergemisch gegeben und vor dieses eine Handvoll kleine Steine gelegt, welche nach Entzündung des Pulvers weit hinausgeschleudert werden. Im Jahre 1290 findet sich die genaue Beschreibung einer hölzernen Kanone in dem Traktat des arabischen Schriftstellers Hassan Alrammah, welcher in der Bibliothek zu Petersburg aufbewahrt wird, während in der Beschreibung einer Belagerung von Sevilla, die im Jahre 1247 stattfand, ohne genauere Angaben mitgeteilt wird, daß sich die Araber gegen die Spanier mit Donnermaschinen verteidigten, die Bolzen schleuderten, welche die Panzer der Angreifer durchschlagen hätten.

Einige Zeit später kennen dann auch die christlichen Staaten die Kanonen. Die erste unbestrittene Mitteilung über diese, in welcher von ihnen aber schon als von etwas Bekanntem gesprochen wird, findet sich in der Chronik der Stadt Metz. Diese berichtet, daß sieben Ratsherren im Jahre 1324 die Mauern der Stadt besichtigt hätten, um die Plätze zur Aufstellung von Kanonen (serpentines, Feldschlangen) festzusetzen. Aus einer zu Florenz aufbewahrten Handschrift geht hervor, daß dort 1326 schon metallene Kanonen gegossen und für sie schmiedeeiserne Kugeln gefertigt wurden. Im Jahre 1339 verwendet die Stadt Cambrai zehn Kanonen zu ihrer Verteidigung bei der Belagerung, und 1346 werden sie zum erstenmal in offener Feldschlacht von den Engländern bei Crecy benutzt.



434 u. 435. Kugelmühle zur Pulverisierung des Schwefels. (Seitenansicht und Schnitt.)

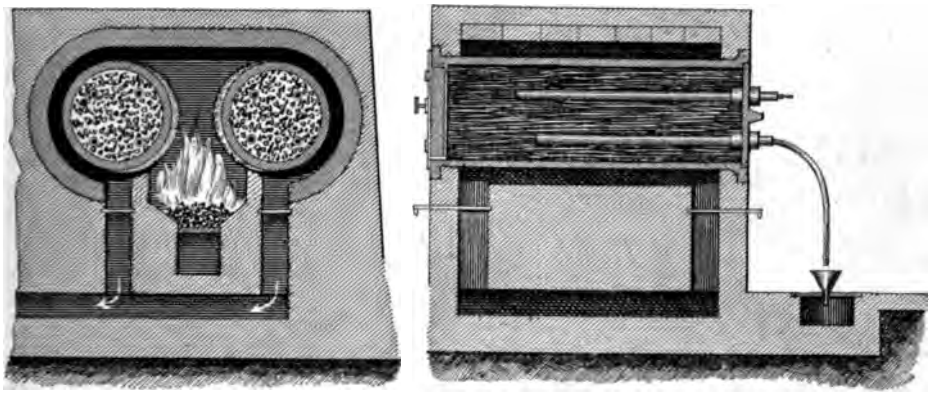
Von da ab verbreitet sich ihr Gebrauch rasch über ganz Europa und nimmt hier die Pulverfabrikation ihren Aufschwung. Während man anfänglich grobgepulverte Gemische von Salpeter, Kohle und Schwefel benutzt hatte, lernt man allmählich seine Kraft durch inniges Mischen seiner Bestandteile erhöhen. Die ältesten Pulver, die nur aus einer mit der Hand hergestellten staubförmigen Mengung der bereits so oft erwähnten Bestandteile gefertigt wurden, konnten nur geringe Triebkraft besitzen und mußten sich infolge der verschiedenen spezifischen Gewichte von Salpeter, Schwefel und Kohle auf dem Transport alsbald entmischen. Die Herstellung des gekörnten Pulvers, welches diesen Fehler nicht mehr zeigt, fällt erst ins 15. Jahrhundert, wo sie von Konrad von Schöngau in seinem Feuerwerksbuch im Jahre 1429 beschrieben wird. Doch erst im 17. Jahrhundert war man im stande, den Heeren ein zuverlässig transport- und aufbewahrungsfähiges Treibmittel für ihre Feuerwaffen zu bieten, das zufolge Gustav Adolfs Erfindung schon teilweise in Gestalt der heutigen Patronen mitgeführt wurde.

Die Fabrikation des Schießpulvers aus seinen Bestandteilen erfolgt jetzt etwa in folgender Weise. Der Salpeter und der Schwefel werden den Fabriken in der nötigen Reinheit geliefert, so daß sie nicht selbst, wie in alten Zeiten, sich mit ihrer Läuterung befassen müssen. Von der Reinheit, in welcher der Salpeter heute zur Verfügung steht, möge folgende Analyse einen Beweis geben, die mit einem für die Pulverfabrikation bestimmten Produkt ausgeführt wurde.

Salpetersaures Kali	99,8121 %
Feuchtigkeit	0,1226 „
Salpetersaures Natron	0,0207 „
Salpetersaure Magnesia	0,0093 „
Salpetersaurer Kalk	0,0006 „
Chlornatrium	0,0134 „
Unlöslicher Rückstand	0,0210 „
	100,0000 %

Den Schwefel kaufen die Fabriken stets in Form von sizilianischem Stangenschwefel. Dieser ist so gut wie chemisch rein. Es ist das bequemer, als Schwefelblumen durch Auswaschen (s. S. 366) absolut von den ihnen anhaftenden Spuren von schwefliger Säure zu befreien.

Der Stangenschwefel wurde früher zwischen den Steinen einer Mühle gepulvert und das Pulver durch ein seidenes Sieb gebeutelt. Hernach ist man zu Kugelmühlen übergegangen (Abb. 434 u. 435). In Frankreich sind deren Cylinder z. B. 1 m lang und haben den gleichen Durchmesser. Vermittelst der dicht schließenden Einsatzthüren a a bringt man in sie etwa 150 kg kleine Bronzekugeln und 40—50 kg Schwefel. Hierauf läßt man vermittelst des Antriebes A den Apparat etwa sechs Stunden rotieren, der den Schwefel während dieser Zeit in ein zartes Pulver verwandelt. Um ihn aus den Cylindern wieder



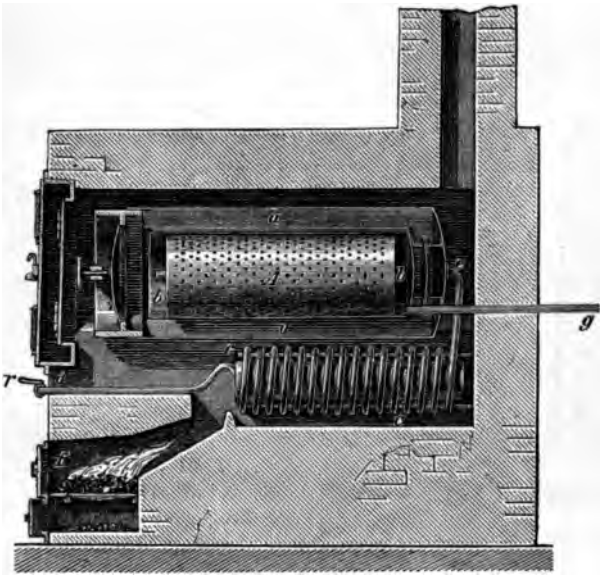
486 u. 487. Holzverkohlung mit direktem Feuer.

herauszubringen, ersetzt man sodann die Thüren durch Siebe, durch welche er bei erneutem Drehen in das unten stehende Gefäß B fällt. Auch er wird hernach durch Seide gebeutelt. Den dritten Bestandteil des Pulvers, die Kohle, bereiten die Fabriken auch heute noch sich stets selbst und zwar durch Verkohlung von Holz. Dies muß immer ein Weichholz sein, doch wechselt die Art je nach den Ländern, indem man sich deren Baumwuchs anpassen muß. In Deutschland dienen hauptsächlich die dünneren Äste des Faulbaums (Rhamnus frangula), der Weide (Salix) und der Erle (Alnus glutinosa), aber auch die der Pappel, der Espe u. s. w.; ähnliche Hölzer benutzt man in Frankreich, während in Spanien Oleander hinzukommt und man in Italien nur Hanfstengel oder deren Scheben verwendet. Alles zur Verkohlung kommende Holz wird entrindet, und man benutzt am liebsten Zweige von etwa 2,6 cm Stärke, weshalb stärkere Holzstücke gespalten werden.

Da die Verkohlung des Holzes in Meilern ein viel zu ungleiches und durch Sand und ähnliches verunreinigtes Material geben würde, als daß sie in Frage kommen könnte, ging man schon früh zu einer Verkohlung in Kesseln über. Diese hatten halbkugelförmige Gestalt, bei $1^1/_2$ m Durchmesser, und waren ins Erdreich eingegraben. Nachdem man etwas Holz in ihnen entzündet hatte, warf man sie schließlich mit weiteren Mengen voll und bedeckte sie mit Platten, in denen sich Öffnungen befanden, aus denen die flüchtigen Produkte entweichen konnten. 20 % vom Gewichte des Holzes etwa blieben an Kohle zurück, doch

war auch diese so wenig gleichmäßig, da die nicht genügend verkohlten Stücke durch Aussuchen entfernt werden mußten.

Mit dem Jahre 1825 begann man in der königlichen Pulverfabrik zu Wetteren bei Gent in Belgien mit der Verkohlung des Holzes in Cylindern, die von außen geheizt wurden. Ihre Einrichtung ist aus den Abbildungen sogleich verständlich. Durch Herausziehen von Proben überzeugte man sich, ob der gewünschte Grad der Verkohlung erreicht sei. Auch hier fiel je nach der angewandten Temperatur die Kohle immer noch recht verschieden aus. Der sich bildende Holzteer sammelte sich in einer vor dem Apparat befindlichen Grube. Seit dem Jahre 1842 hat man dann zu Wetteren ein neues Verkohlungsverfahren versucht und eingeführt, nämlich statt mit direktem Feuer mit überhitztem Wasserdampf zu arbeiten, welche Methode nunmehr die Verkohlung des Holzes bei beliebig festgestellter Temperatur gestattet. Die Einrichtung des hierzu nötigen Apparates ist folgende. Es sind drei zu einander konzentrische Cylinder aus Eisenblech vorhanden. Von diesen ist der innere A zur Aufnahme des Holzes im Gewichte von 25—30 kg bestimmt und, damit ihn der Dampf gut durchströmen kann, siebartig durchlöchert. Durch den Hahn r tritt der einem Dampfkessel entnommene Dampf in das Schlangenrohr e, das durch die Feuerung f erhitzt wird. In diesem Schlangenrohr findet infolgedessen eine Überhitzung des Dampfes statt, und man sucht diese so zu regulieren, daß seine Temperatur sich bei etwa 300° hält oder auch dem Siedepunkt des Quecksilbers also etwa 360° sich nähert. So erwärmt tritt er zuerst in den Cylinder a a, geht von da nach Cylinder A und durchdringt von hier aus das Holz, worauf er durch das Rohr g, beladen mit dessen flüchtigen Bestandteilen entweicht. Nach 2 Stunden etwa zeigt er weder Farbe noch Geruch, ein Beweis, daß er alle bei seiner Temperatur aus dem Holz austreibbaren flüchtigen Substanzen nunmehr mit sich genommen hat. Jetzt wird seine Zufuhr abgestellt und der siebförmige Cylinder mit einer passenden Vorrichtung in einen entsprechend großen Cylinder aus Eisenblech geschoben, in welchem er bis zu seiner völligen Abkühlung verbleibt. Ein zweites, mit frischem Holz gefülltes Sieb tritt sofort an seine Stelle, und eine neue Verkohlung beginnt. Wenn man den Dampf mit etwa ein viertel Atmosphäre Überdruck in den Apparat treten läßt, so reißt er jede Spur teeriger Substanzen mit sich, und man erhält eine ganz gleichmäßige Kohle. War die Temperatur im Apparat 300°, so bekommt man etwa 40% vom Gewichte des Holzes an Rotkohle, welche 70—72% Kohlenstoff enthält, ist man bis etwa 360° gegangen, so erhält man etwa 30% Schwarzkohle mit 75—85% Kohlenstoffgehalt.



488. Holzverkohlung mit überhitztem Wasserdampf.

Der Apparat soll nicht gerade billig arbeiten und genügt auch in anderer Beziehung den neuesten Ansprüchen nicht mehr. Es sind daher manche abgeänderten Konstruktionen vorgeschlagen worden, so eine solche von Güttler, welche durch das deutsche Patent Nr. 42470 geschützt ist, doch ist über den Fortschritt, welcher sich mit ihnen gegenüber dem älteren Verfahren erzielen läßt, bisher nichts in die Öffentlichkeit gedrungen.

Aus den Mitteilungen über die Verkohlung des Holzes folgt, von welchem Einfluß auf die schließliche Güte des Pulvers die verwendete Holzkohle sein muß, sonst würde man sich doch nicht so viel Mühe mit ihrer Herstellung geben. Die Erfahrung der Zeiten hat gelehrt, daß die für diese Fabrikation beste Sorte die ist, welche sich am leichtesten entzündet, am raschesten verbrennt und am wenigsten Asche zurückläßt. Wie sehr alles von der Verkohlungstemperatur abhängt, ergibt sich aus folgender auszüglich wiedergegebenen Tabelle Violettes, welcher für sie möglichst gleichmäßige Stücke Faulbaumholz verwendete, die bei 150° getrocknet waren.

Temperatur der Verkohlung	Entzündungstemperatur der erhaltenen Kohle	Analyse dieser in Prozenten				Ausbeute an Kohle in Prozenten	Aussehen der Kohle
		Kohlenstoff	Wasserstoff	Asche	Stickstoff Sauerstoff und Verlust		
280°	340—360°	72,64	4,70	0,57	22,10	36,16	rotbraun, wird pulverisierbar
350°	360—370°	76,64	4,14	0,61	18,44	29,66	sehr schwarz, gut f. Militärpulver
432°	400°	81,64	1,96	1,16	15,25	18,87	schwarz und sehr hart
1500°	600—800°	94,57	0,74	1,66	3,84	17,31	
Schmelzpunkt des Platins	1250°	96,52	0,62	1,95	0,94	15,00	

Das Pulverisieren der Kohle erfolgt jetzt zumeist in ähnlicher Weise wie das des Schwefels, indem man sie mit Bronzekugeln in rotierenden Fässern umlaufen läßt. Auf einen Teil Kohle nimmt man zwei Teile Bronzekugeln, und bei 20—22 Umdrehungen in der Minute pflegt das Pulverisieren in einer Stunde beendigt zu sein.

Die Fabrikation des Schießpulvers aus seinen drei Bestandteilen besteht nun der Hauptsache nach in der Dosierung und Vermengung der Stoffe, der Zerkleinerung und Bildung der Kuchen, dem Körnen dieser, ihrem Glätten und Polieren und ihrem schließlichen Trocknen. Die Dosierung der Mischung entspricht fast genau dem Verhältnis, daß auf zwei Moleküle Salpeter ein Molekül Schwefel und drei Moleküle Kohle kommen, oder daß in hundert Teilen Pulver enthalten sind 74,84 Salpeter, 11,84 Schwefel und 13,32 Kohle. Schon die von Marcus Grăcus empfohlene Mischung weicht nicht übermäßig hiervon ab, wie die folgende Tabelle zeigt:

	Salpeter	Schwefel	Kohle
Mischung nach Marcus Grăcus	67	11	22
Deutsches Reich, Militärpulver	74	10	16
England	75	10	15
Frankreich (Chassepotpulver)	74	10,5	15,5
Vereinigte Staaten	76	10	14
Deutsches Jagdpulver	78,5	10	11,5
Französisches Jagdpulver	78	12	10

Einen größeren Unterschied erweist sie zwischen den Militärpulvern und den Sprengpulvern. Letztere entsprechen zufällig fast genau dem Mischungsverhältnis des Marcus Grăcus für das griechische Feuer. Der Grund ihrer vom eigentlichen Schießpulver abweichenden Zusammensetzung liegt darin, daß sie beim Sprengen wohl recht viel Gas entwickeln, aber zugleich billig sein sollen, weshalb man am teuersten Ingredienz, dem Salpeter, möglichst spart. Sie zeigen z. B. folgende Mischungsverhältnisse:

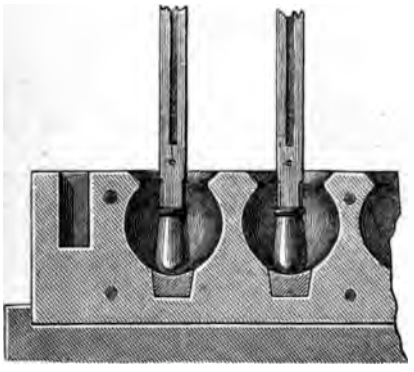
	Salpeter	Schwefel	Kohle
Mansfelder Grubenpulver	66,4	11,7	21
Harzer Grubenpulver	62,0	21,3	16,4
Französisches Sprengpulver	62,0	20,0	18,0
Österreichisches Sprengpulver	60,2	18,1	21,4

Wie man aus den Tabellen sieht, entsprechen also manche Pulversorten fast genau den theoretisch berechneten Verhältnissen, während andere sich ziemlich weit von ihnen entfernen. Wie wir aber aus den Analysen der verwendeten Holzkohle wissen, ist diese durchaus nicht reiner Kohlenstoff, ist also nicht identisch mit dem C der Chemiker, welches

ja chemisch reinen Kohlenstoff bedeutet. Man müßte also, um die theoretische Menge an Kohlenstoff in der Mischung zu erreichen, sehr viel mehr Holzkohle verwenden. Dabei ist allerdings nicht zu übersehen, daß ihr Gehalt an Wasserstoff ebenfalls Sauerstoff des Salpeters zu seiner Verbrennung zu Wasser erfordert, sowie daß das bei der hohen Temperatur sich bildende Wasser als Gas, also als treibende Kraft in Rechnung zu ziehen ist, weil es ja in diesem Zustande einen viel größeren Raum als im unverbrannten Pulver einzunehmen bestrebt ist.

Die Herabsetzung der Salpetermenge in den Grubenpulvern gibt Veranlassung zur Bildung von Kohlenoxydgas statt von Kohlensäure, was in diesem Falle ohne Nachteil bleibt, weil von diesen Pulvern eine so plötzliche völlige Verbrennung, wie vom eigentlichen Schießpulver nicht verlangt wird. Die auffällig große Quantität Schwefel im französischen Sprengpulver findet ihre Erklärung in fiskalischen Verhältnissen. Grubenpulver ist dort steuerfrei, während das Jagdpulver einer hohen Abgabe unterliegt, und da sehr schwefelhaltige Pulver die Gewehrläufe stark angreifen, ist auf diesem Wege Steuerhinterziehungen vorgebeugt.

Die Mischung der drei Bestandteile erfolgte noch bis in die neuere Zeit in den schon im 15. Jahrhundert beschriebenen Stampfwerken. Die Stampflöcher sind in einem Klotz von Eichenholz oder Buchenholz ausgehöhlt und befinden sich etwa zehn von ihnen nebeneinander. In sie fallen die Stampfer, welche eine Daumenwelle abwechselnd hebt und fallen läßt. Sie sind fast 3 m lang und haben unten einen Schuh, der ehemals aus Bronze, heute nötigenfalls aus Phosphorbronze gefertigt wird. Ihr Gesamtgewicht beträgt etwa 40 kg. In jedes Stampfloch gehen etwa 10 kg Pulversatz. Nachdem die Kohle und der Schwefel gemischt sind, werden sie mit Wasser angefeuchtet, dann erst setzt man den Salpeter zu, und nun kommt das Ganze unter die Stampfe. Anfangs gibt man etwa 40 Schläge, später 50—60 Schläge in der Minute. Allstündlich wird der Inhalt des einen Mörsers in den nächstfolgenden übergefüllt, damit Teile, welche am Rande sitzen geblieben und dem Mischen entgangen sein können, in dem nächsten auch sicher mit durchgearbeitet werden. Elf Stunden pflegt man im ganzen zu stampfen, und die etwa 30000 Schläge, die das Gemenge in der Zeit erhalten hat, sind die erfahrungsgemäß richtige Anzahl. Um die Gefahren von Explosionen in diesen Stampfwerken abzuschwächen, stellt man sie in ganz leichten Gebäuden ziemlich entfernt von der übrigen Fabrik auf.



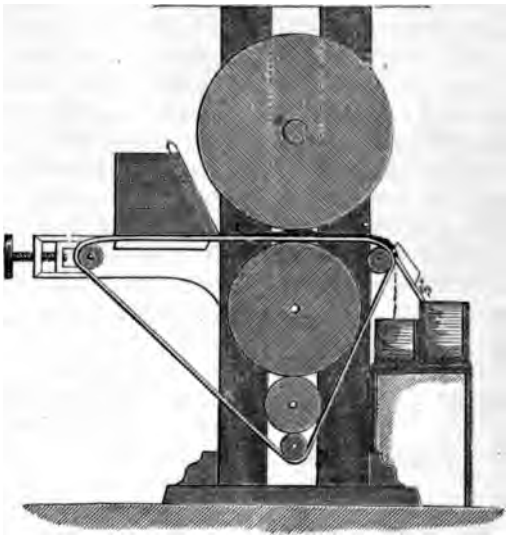
489. Pulverstampfe.

An ihrer Stelle bedient man sich zum Mischen der Materialien auch seit langem der Mengtrommeln, welche genau so, wie wir sie oben für die Zerkleinerung des Schwefels abgebildet haben, beschaffen sein können. So hatten zu Wetteren nach einer älteren Beschreibung diese Tonnen einen Durchmesser von 90 cm, und man gab in sie 25 kg Satz und etwa 40 kg Bronzekugeln von verschiedener Größe; sie machten etwa 15—20 Umdrehungen in der Minute, und da bei dieser Umdrehungsgeschwindigkeit sich die Materialien nur sehr wenig in ihnen erwärmen, sollen Unfälle ausgeschlossen sein. Die Dauer der Vermengung betrug 2—4 Stunden, je nach der Beschaffenheit des Pulvers und dem Zustande der angewendeten Materialien.

Um das nun folgende Körnen vorzubereiten, kamen sodann die Materialien ehemals auf einen Kollergang (s. S. 343). Zu Wetteren war das Gewicht der Steine desselben ca. 3500 kg. Während des Mahlens auf diesem feuchtete man den Satz ein wenig an und hörte mit dem Mahlen auf, sobald die sich kuchenförmig zusammenballende Masse hinreichend hart war und ihr Bruch die genügende Gleichförmigkeit zeigte, was ebenfalls 2—4 Stunden zu erfordern pflegte. Ein solcher Kollergang langte für eine Fabrikation von etwa 50000 kg jährlich.

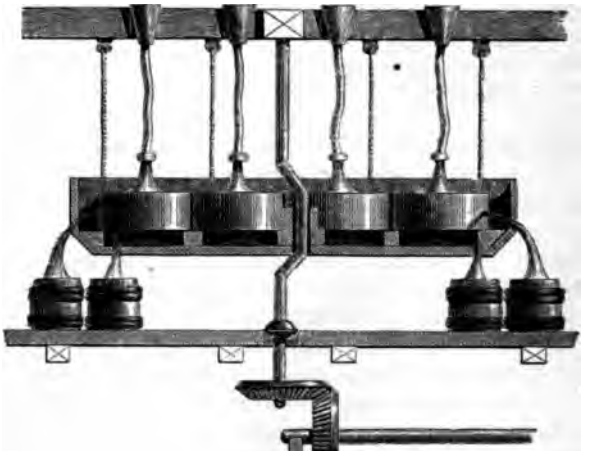
Heutzutage aber wird der angefeuchtete Pulversatz mechanisch meist in einer 26 mm starken Schicht auf ein Tuch ohne Ende gebracht, welches zwischen zwei Walzen, wie wir es in der Abbildung sehen, durchpassiert, von denen die obere aus Holz, die untere aus Bronze ist. Der Kuchen hat nach dem Passieren der Walzen eine Stärke von 6,5 mm und ist sehr hart, da diese mit einem Druck bis zu 25 000 kg gegeneinander gepreßt werden.

Dieses Verdichten des Satzes ist für die Güte des Pulvers von großer Wichtigkeit. Je mehr es hierbei zusammengepreßt worden ist, um so mehr wirksame Bestandteile befinden sich hernach in einem möglichst kleinen Raume, um so mehr Gas wird in diesem bei seiner Explosion entwickelt werden.



440. Pulverpresse.

Der Pulverkuchen wird nunmehr entweder zwischen geriffelten, gegeneinander sich bewegenden Walzen zu Körnern zerbrochen, oder er kommt in eine Körnmaschine, als welche zumeist die von Lefebvre dient. Diese besteht aus einem starken horizontal aufgehängten Rahmen von Holz, auf welchem 10 bis 12 hölzerne Gefäße befestigt sind. Jedes dieser Gefäße hat mehrere durchlöcherte Böden. Der obere Boden ist aus einem feinfaserigen harten Holz oder auch von Messingblech, der zweite aus Drahtgeflecht, der dritte aus Haartuch und der letzte endlich aus hartem Holz. Der Rahmen wird durch eine Vertikalwelle mit Krummzapfen in rotierende Bewegung gesetzt und macht 74 Umdrehungen in der Minute. Das Füllen der Gefäße geschieht durch den Einschütttrichter mit dem daran hängenden Tuchschlauch. Die auf dem obersten Boden eines jeden Gefäßes befindliche Körnscheibe aus dem harten Holz mit Bleieinguß zerschlägt die Pulverstücke und treibt sie durch die Löcher des Obersiebes auf das zweite oder Mittelsieb; was auf diesem liegen bleibt, ist das ehemalige Kanonenpulver. Die feineren Körner fallen auf das dritte oder Staubsieb. Dort bleibt das Gewehrpulver liegen, und nur der Staub fällt auf den Boden des Gefäßes. Aus den verschiedenen Abteilungen der Gefäße führen Schläuche nach unten aufgestellten Kästen, in welchen sich die Pulverkörner und der Staub gesondert sammeln.

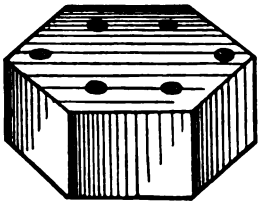


441. Pulverkörnmaschine von Lefebvre.

Das vom Körnen kommende Pulver hat noch keine regelmäßige Gestalt, welche ihm erst durch das Polieren verliehen werden kann; für dieses ist es aber noch zu feucht, und so wird es auf langen Tischen in luftigen Holzhäusern getrocknet. Ist das Trocknen genügend fortgeschritten, so findet eine vorläufige Sortierung der Körner dadurch statt, daß man sie auf einen Siebsatz, dessen Abteilungen verschieden große Löcher haben, wirft und

durchschüttelt; was ganz oben liegen bleibt, wird mit dem unten abfallenden Staub zusammen neuerdings angefeuchtet und wieder durch die Presse geschickt, um so verwertet zu werden. In den einzelnen Sieblagen dagegen findet man Körner von genügender Gleichmäßigkeit für die praktische Verwendung. Diese noch rauhen und eckigen Stückchen kommen jetzt in die Roll- oder Polierfässer, in denen sie sich gegenseitig abschleifen, und zwar läßt man sie in denselben 10—36 Stunden laufen. Dabei erwärmen sie sich durch das gegenseitige Reiben auf 50—60°, infolgedessen dunstet etwas Wasser ab, und gerade diese feuchte Atmosphäre, in welcher sie liegen, begünstigt die Bildung einer schönen Politur. Haben sie diese erreicht, so werden sie endgültig getrocknet, indem man sie in Räume bringt, in denen heutzutage durch in Kupferröhren zirkulierendes heißes Wasser eine Temperatur von etwa 60° unterhalten wird. Hier sind sie nach wenigen Stunden völlig von ihrem Wassergehalt befreit. Sie passieren jetzt nochmals einen Siebsatz, um endgültig Sorten von möglichst gleich großem Korn zu liefern, und nachdem man große Mengen von ihnen, welche einer Reihe von Operationen entstammen, durcheinander gemischt hat, damit stets eine gleichmäßige Durchschnittssorte entsteht, sind sie Handelsware. Größere Quantitäten verpackt man zu 50—100 kg in Säcken, welche man in Holzfässern verschickt; kleinere Mengen, namentlich Jagdpulver, werden auch in gläsernen Flaschen versandt.

Mit einem auf die von uns beschriebene Art hergestellten Pulver begnügte man sich bis zum Jahre 1852. Wir haben schon erwähnt, daß alles Pulver gepreßt wird, damit auf möglichst kleinem Raum recht viel von ihm untergebracht werden kann, anderseits brennt ein solches Pulver natürlich verhältnismäßig langsam, indem es nur an der Außenfläche der Körner entzündbar ist. Als daher der Italiener Paolo di San Roberto in jenem Jahre vorschlug, das Pulver bei etwa 100° zu pressen, so daß der bei dieser Temperatur erweichende und plastisch werdende Schwefel es zu einer festen Masse vereinige, hatte die praktische Durchführung dieser Idee anfangs keinen Erfolg, weil diese neue Pulversorte gar zu langsam abbrannte. Dabei hatte sicher die Möglichkeit, Pulvercylinder direkt von der für das Kaliber der Gewehre notwendigen Größe auf diesem Wege herzustellen, etwas für sich Einnehmendes.



442. Prismatisches Pulver (natürl. Größe).

Die Idee war wie so manche andere ihrer Zeit vorausgeeilt, sie fand ihre Anwendung erst im amerikanischen Kriege, in welchem größere Ansprüche an Schießpulver als jemals bis dahin gestellt wurden. In diesem tauchten bekanntlich zuerst gepanzerte Schiffe auf. Um nun deren Panzer zu durchschlagen, gebrauchte man Kugeln von größerer Durchschlagskraft, als bis zu der Zeit nötig gewesen waren. Erhöhte man zu dem Zwecke einfach die Ladung der Geschütze durch Vermehrung des bis dahin üblichen Pulvers, so lieferte dies bei seinem Abbrennen plötzlich einen so ungeheuren Druck im Rohre, daß die Haltbarkeit der Geschütze gar zu sehr gefährdet war.

So fabrizierte man denn 1862 zuerst das sogenannte Mammutpulver, dessen Körner etwa 2,5 cm Durchmesser hatten. Aus ihm entwickelte sich weiter das prismatische Pulver, dessen Gestalt eine weit bessere Ausnutzung des Raumes als die bisher übliche Kugelform ermöglichte. Wir haben hier ein Stück solch prismatischen Pulvers in natürlicher Größe abgebildet. Um seine Verbrennungsgeschwindigkeit nicht gar zu sehr herabzusetzen, hat es sechs Durchbohrungen, die sein Brennen nicht nur von außen ermöglichen, sondern auch von innen und so zur Beschleunigung dieser beitragen. Hierdurch ist es nun erreicht worden, daß dieses Pulver eine mehr schiebende als stoßende Wirkung auf das Geschoß ausübt, und daß, indem man die Geschützrohre möglichst lang macht, seine Kraft aufs vollkommenste zur Geltung kommt.

Diese Art von Schießpulver, das aus den drei so oft erwähnten Bestandteilen hergestellt worden ist, für die Zwecke des Krieges noch übertreffen zu wollen, scheint wohl ausgeschlossen, und für das, was dieses Pulver leistet, namentlich seitdem man sich zu bedeutenden Verlängerungen der Geschütze entschlossen hat, sei folgendes angeführt.

Bis in die achtziger Jahre begnügte man sich, die Rohre 18—25 Kaliber, d. h. bis 25 mal so lang als den Geschoßdurchmesser zu machen. Schon 1882 fing man aber an, Rohre auf 32—35 Kaliber zu verlängern, und jetzt ist man bei 50 Kalibern angelangt. Diese längeren Rohre gestatten also eine erheblich bessere Ausnutzung des prismatischen Pulvers, und verleihen deshalb dem Geschosse eine bedeutend größere Anfangsgeschwindigkeit und damit auch eine entsprechend größere Durchschlagskraft. Welcher fast unglaublichen Leistungen solche Geschütze fähig sind, zeigt dasjenige von 24 cm Geschoßdurchmesser, welches Krupp in Chicago ausstellte. Am 28. April 1892 gab es einen Schuß in Gegenwart des Kaisers Wilhelm II. ab, der das 215 kg schwere Geschoß in 70 Sekunden 20226 m weit trug, eine Entfernung, zu deren Durcheilung selbst Jagdzüge eine Viertelstunde brauchen. Das Rohr hatte dabei eine Erhöhung von 44°, der von dem Geschosse zurückgelegte Weg erreichte eine Scheitelhöhe von 6540 m, wobei wir bemerken wollen, daß der Chimborasso 6421 m, der Montblanc 4810 m hoch ist. Die Ladung betrug 115 kg prismatisches Pulver. Ein zweites von Krupp in Chicago ausgestelltes Geschütz, ein 14 m langes 42 cm-Geschütz, schleudert ein 1000 kg schweres Geschoß mittels einer Ladung von 410 kg prismatischen Pulvers 8850 m weit bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 400 m in der Sekunde. Die Lafette dieses letzteren Ungetüms wiegt 68000 kg und die Montierung ebensoviel. Das Geschoß besitzt eine Sprengladung von 12,5 kg und durchschlägt in 1000 m Entfernung eine Schmiedeeisenplatte von 108 cm, in 2000 m Entfernung eine solche von 92 cm Dicke. Es läßt sich aber nicht leugnen, daß die hohen Anschaffungskosten, die starke Beanspruchung der Schiffe, welche diese Kanonen tragen, und die starke Abnutzung der Geschütze selber, denn mehr als 75—80 Schuß halten dieselben nicht aus, zu erheblichen Bedenken Veranlassung geben. Einige solcher Riesen dienen auch zum Schutze des Nordostseekanals, wo in einem Fort an der Elbmündung sechs von ihnen aufgestellt sind. Sie beherrschen diese in ihrer ganzen Breite, wie ein Probeschießen im Jahre 1891 bewies. Die Projektile schlugen, die ganze äußere Mündung überfliegend, ins jenseitige Wattenmeer ein und hatten danach ebenfalls eine Tragweite von über 20 km. Die Rohrlänge dieser Geschütze beträgt $10^1/_2$ m, das Rohr wiegt ca. 60000 kg, und für jeden Schuß gelangen 175 kg Pulver und ein Geschoß von 465 kg Gewicht zur Verwendung. Was mag solch ein Schuß kosten, wenn man die Abnützung des Geschützes mit einrechnet.

Eine ganz erstaunliche Vervollkommnung der Geschütze sind die in neuerer Zeit in Aufnahme gekommenen Schnellfeuerkanonen. Diesen verdankten die Japaner 1895 hauptsächlich ihren Erfolg gegenüber den Chinesen in der letzten größeren Seeschlacht, welche die Welt gesehen, in derjenigen an der Jalumündung. Man fand nach derselben bei einem der chinesischen Panzer 200 Schußlöcher, bei einem anderen 120 an den ungepanzerten Stellen. Solche Schnellfeuerkanonen geben bis 40 Schüsse in der Minute ab, können aber nicht mit dem alten Pulver geladen werden, sondern erfordern rauchloses Pulver, zu dem wir jetzt übergehen wollen.

Nach dem, was wir soeben von den Leistungen des Schießpulvers in Form des prismatischen Pulvers erfahren haben, scheint also kein Bedürfnis nach einem noch leistungsfähigeren Explosivstoffe für die Zwecke des Krieges vorzuliegen, und doch ist dem so, wenn wir außer den bisher nur betrachteten Geschützleistungen auch die der Handfeuerwaffen in Betracht ziehen.

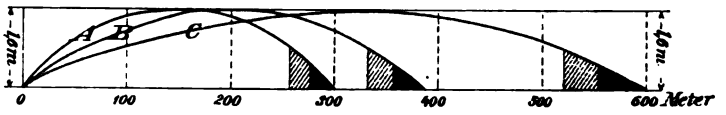
So einfach die Herstellung einer Kanone in ihrer rohesten Form sich gestaltet, so schwer war es, sie so weit zu verkleinern, daß der einzelne Mann sich ihrer als Gewehr bedienen konnte. Dazu kam, daß die Anschaffung einiger Geschütze nicht sehr schwierig war, während die Ausrüstung einiger tausend Mann mit Gewehren die Leistungsfähigkeit der einzelnen Heerführer zumeist bei weitem überstieg. Dazu kam ferner, daß, da die Gewehre im Nahkampf nicht zu gebrauchen waren, immer ein Teil des Fußvolkes mit Spießen bewaffnet bleiben mußte, bis die Erfindung des Bajonetts diese Schwierigkeit beseitigte. Auch ihr Laden war anfangs so schwierig, daß die Schützen bis 37 Glieder tief stehen mußten, damit, wenn die erste Reihe geschossen hatte, sie Zeit hatte, nach hinten zu laufen und wieder frisch zu laden, womit sie erst fertig war, wenn die 36 Vordermänner ihre

Schüsse abgegeben hatten. So dauerte es denn bis in die Zeiten Friedrichs des Großen, daß das Infanteriegewehrfeuer für die Entscheidung der Schlachten maßgebend wurde. Das preußische Zündnadelgewehr, welches bereits ein Hinterlader war, zeigt sich dann in den Kriegen 1864 und 1866 so sehr den alten Vorderladern überlegen, daß noch im Jahre 1866 die Franzosen das Chassepotgewehr einführen. Aber das Prinzip der Hinterlader genügt den ununterbrochen wachsenden Ansprüchen keine 25 Jahre; man entschloß sich zur Einführung von Mehrladern oder Magazingewehren, deren beste Konstruktion noch nicht feststeht, so daß an ihrer Vervollkommnung nunmehr ununterbrochen gearbeitet wird.

Dazu kommt hinsichtlich der Gewehre folgendes. Je weiter die Technik in ihrer Ausbildung fortschreitet, um so geringer wird der Geschoßdurchmesser. Im 14. Jahrhundert betrug er 35 mm, und nach 1846 hatten französische Büchsen einen solchen von 17 mm. Unter den damaligen Verhältnissen machte es daher großes Aufsehen, als auf einem Schweizer Schützenfeste 1844 amerikanische Gewehre, die nur ein Kaliber von etwa 10 mm hatten, sich durch außerordentliche Treffsicherheit auszeichneten. Dieses wurde für die Schweizer Militärverwaltung nach vielen Versuchen Veranlassung, Gewehre mit diesem kleinen Kaliber einzuführen, und hierin sind ihr, wenn auch nur sehr langsam, die anderen Staaten schließlich doch gefolgt. Die sehr allmähliche Anerkennung dieses Prinzips zeigt folgende Tabelle.

Staat	Jahr	Kaliber	Staat	Jahr	Kaliber
Frankreich	1866	11 mm	Frankreich	1886	8 mm
Belgien	1867	11 „	Österreich	1888	8 „
Österreich	1868	11 „	Deutschland	1888	7,9 „
Spanien	1871	11 „	England	1889	7,7 „
Deutschland	1871	11 „	Belgien	1889	7,65 „
England	1871	11,43 „	Schweiz	1890	7,5 „
Rußland	1871	10,66 „	Italien	1897	6,5 „

Nachdem man sich also längere Zeit mit einem Heruntergehen auf 11 mm begnügte, ist man jetzt bei etwa 7 mm angelangt. Der Vorteil, den diese Verkleinerung mit sich bringt, ist nicht nur der, daß der Schütze bei der bedeutenden Verminderung des Gewichtes



443. Flugbahnen.

und Raumes der Patronen etwa die doppelte Anzahl von ihnen gegen früher mit sich führen kann, was namentlich wiederum in Rücksicht auf die Magazingewehre mit ihrem starken Munitionsverbrauch von großer Wichtigkeit ist, sondern weit ausschlaggebender ist für die kleinkalibrigen Gewehre, daß, je kleiner der Durchmesser des Projektiles ist, desto gerader der Geschoßflug wird, wodurch natürlich die Treffsfähigkeit außerordentlich erhöht wird. Daher stammt auch die so bedeutende Verlängerung der modernen Gewehrkugeln. Vorstehende Abbildung zeigt uns so recht die Verminderung der Flughöhe. A stellt die Flugbahn eines preußischen 13 mm Zündnadelgewehres vom Jahre 1862, B die eines französischen 11 mm Gras-Gewehres vom Jahre 1874, C die eines 6,5 mm Mannlicher-Gewehres vom Jahre 1892 dar. Man sieht daraus, daß ein Mann von der durchschnittlichen Höhe von 1,6 m bis auf eine Entfernung von 295 m mit dem Zündnadelgewehr dem Schuß völlig ausgesetzt ist, jedoch bis auf 375 m mit dem Gras-Gewehre und bis auf 590 m mit dem Mannlicher-Gewehr. Für niedrigere Gegenstände ist das Verhältnis noch entsprechend günstiger, wie dies aus den vollen und schraffierten Teilen der Zeichnung ersichtlich ist, die Gegenstände von 0,4 und 0,5 m Höhe darstellen.

Die Verkleinerung des Kugeldurchmessers führt natürlich eine Gewichtsverminderung mit sich, die wohl teilweise, aber nicht ganz durch die Verlängerung des Projektiles ausgeglichen werden kann, weil es auch für diese eine obere Grenze gibt. Daher stammt

der vor einigen Jahren aufgetauchte Vorschlag, an Stelle von Bleigeschossen solche aus Wolfram zu verwenden. Das Wolfram-Metall ist aber verhältnismäßig selten und, was viel störender ist, sehr schwer darstellbar. Außerordentlich brauchbar für den Zweck wäre es, weil es spezifisch fast noch einmal so schwer als Blei ist, eine gleichgroße Kugel also das Doppelte wiegen würde.

Das im Januar 1897 den italienischen Truppen nach Afrika in Rücksicht auf die damals für wahrscheinlich angesehenen Angriffe der Derwische mitgegebene Magazingewehr hat ein Kaliber von 6,5 mm. Infolge seines beweglichen Verschlusses kann es 24 Schüsse in der Minute abgeben. Die Durchschlagskraft des Geschosses macht die gewöhnlichen Deckungen unwirksam, denn auf 400 m durchdringt es eine Ziegelmauer von fast 1 m Dicke. Schlagen mehrere Geschosse an benachbarten Punkten in die Mauer, so öffnen sie eine namhafte kleine Bresche. Das Geschoß besteht aus Hartblei, die Ladung beträgt 24 g Ballistit (siehe weiterhin).

Als vor einigen Jahren beim Vordringen der Engländer in der Richtung nach Chartum die Derwische zum erstenmal modernem Schnellfeuer der Infanterie gegenüberstanden und ihm weichen mußten, berichtete bekanntlich ihr Anführer in einem Briefe an den Mahdi: „Ihr Feuer geht wie Wasser", welchen Eindruck mag da ein noch rascheres Feuern, wie es die neueren Mehrlader wiederum erlauben, auf die Söhne der Wüste machen.

Die lebendige Kraft, welche einem Geschosse erteilt werden kann, von der natürlich die Flugweite abhängt, setzt sich aus zwei Faktoren zusammen, aus dem Gewichte seiner Masse und dem Quadrate seiner Geschwindigkeit. Soll also mit einer leichteren Kugel die gleiche Leistungsfähigkeit erzielt werden wie mit einer schwereren, so bleibt nur der Ausweg übrig, die Anfangsgeschwindigkeit, mit welcher sie das Rohr verläßt, zu erhöhen und in entsprechendem Maße zu vergrößern, d. h. also im quadratischen Verhältnis zur Abnahme des Gewichts, ein Geschoß von halbem Gewicht muß also mit der vierfachen Geschwindigkeit (zwei im Quadrat) ausgestattet werden, um die gleiche lebendige Kraft zu haben.

Die aus den hier angeführten Gründen notwendige Vermehrung der Treibkraft dieser kleinen Geschosse ist mit dem alten Schießpulver nun überhaupt nicht zu erzielen, dazu gehören Explosivkörper von einer Stärke, welche die dieses altbewährten Mittels bei weitem überragen, und dies war die Ursache, daß die Staaten mit der Einführung des kleinkalibrigen Gewehrs auch zur Einführung neuer Explosivstoffe schreiten mußten.

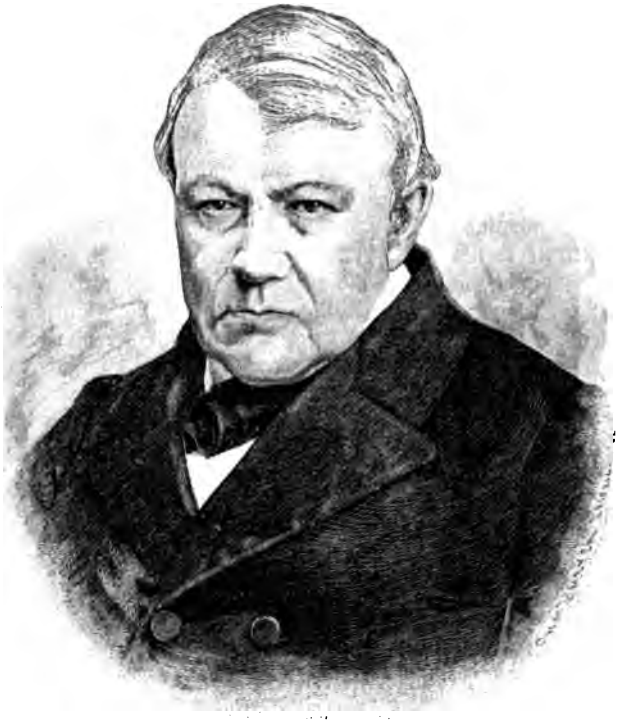
Mit dem alten Pulver haben diese neuen Explosivstoffe eigentlich nur das gemein, daß sie, wie jenes, Explosionskraft besitzen, ja sie haben nicht einmal Pulverform. Nun über diesen Begriff hatte man sich beim Mammutpulver schon weggesetzt, doch hat man sie im Anklang an ihren Vorgänger mit dem Namen „Rauchlose" oder „Rauchschwache Pulver" belegt, weil sie keinen „Pulverdampf" erzeugen, wenn sie explodieren, wofür wir die Gründe sehr bald kennen lernen werden.

Da alle rauchlosen Pulver aus jenen neueren Sprengmitteln hervorgegangen sind, welche im Bergbau seit Mitte des Jahrhunderts das alte Sprengpulver zu verdrängen angefangen haben, so ist es am richtigsten, jetzt zuerst diese zu betrachten, und dann zu verfolgen, wie man sie allmählich trotz ihrer cyklopenhaften Kraft und in ihrem gefährlichen Ungestüm so weit abzuschwächen lernte, daß sie wie das alte Pulver als Treibmittel in Gewehren dienen können.

Die neueren Sprengmittel sind alle auf Versuche Schönbeins zurückzuführen, die ihn zur Entdeckung der Schießbaumwolle führten. Schönbein, der Entdecker des Ozons oder aktiven Sauerstoffs, glaubte bekanntlich auch ein Antozon entdeckt zu haben, welche letztere Verbindung sich aber als nichts anderes als Wasserstoffsuperoxyd erwies. Seiner Idee nach sollte in allen sauerstoffhaltigen Körpern der Sauerstoff bald in der einen, bald in der anderen Ozonform stecken. Dieser Anschauung zufolge mußte Schwefelsäure eine Verbindung von schwefliger Säure mit aktivem Sauerstoff, Salpetersäure eine solche von Stickstofftetroxyd mit ihm sein. Nun glaubte Schönbein weiter, was bei der damaligen Herrschaft der dualistischen Theorie (s. S. 310) nicht so unmöglich schien, beim Vermischen von Salpetersäure und Schwefelsäure müsse der aktive Sauerstoff frei werden. Und der

Versuch schien die Voraussetzung zu bestätigen. Schwefel, Phosphor, Zucker, Holz u. s. w. werden auf das heftigste von einer solchen Mischung oxydiert; zumal aber war es die Umwandlung der Baumwolle durch dieses Säuregemisch, welche alsbald das größte Aufsehen erregte.

Die Schönbeinsche Erfindung der Schießbaumwolle, wie er die neue äußerlich von der Baumwolle kaum zu unterscheidende Substanz nannte, fällt in das Jahr 1846. Versuche der Baseler Militärverwaltung und Sprengungen im Tunnel zu Idstein bestätigten ihre eminente Explosivkraft. Als dann wenige Monate später Böttcher in Frankfurt unabhängig von Schönbein dieselbe Erfindung machte, wurden die Versuche gemeinschaftlich fortgesetzt. In dem kleinen Baseler Universitätslaboratorium und in dem alten Böttcherschen Institut unter den Sammlungen des Senckenbergschen Museums in Frankfurt wurde mit Feuereifer gearbeitet. Noch nach Jahren haben sich, wie Lepsius in einem Vortrage mitteilt, die Haare der Museumsverwalter gesträubt, als sie hörten, daß unter ihren kostbaren ausgestopften Tieren u. s. w. Sprengstoffe bereitet, und welche Mengen von Schießbaumwolle in der Dachkammer des Hauses zum Trocknen aufgehängt worden waren. Ja selbst die Küche der Böttcherschen Wohnung mußte herhalten, und mochte auch eine kleine Explosion sämtliche Fensterscheiben zertrümmern, sie regte die Forscher nur noch mehr an, die Versuche fortzusetzen.



444. Christian Friedrich Schönbein.

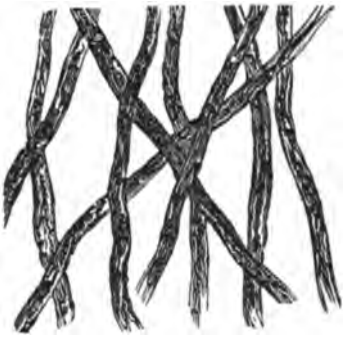
Allein lange konnte die Darstellung der Schießbaumwolle nicht geheim bleiben, da Professor Otto in Braunschweig, welchem die Bereitung ebenfalls gelungen war, seine Versuche veröffentlichte. Nun beschäftigte sich alle Welt mit diesem merkwürdigen Körper. Wochenlang sprachen die Zeitungen von dem rauchlosen Schießmittel; schon fürchteten die Schlachtenmaler, ihr hauptsächlichstes Requisit, den Pulverrauch, zu verlieren; der Verbrauch an Salpetersäure stieg enorm; es dauerte auch nicht lange, und man begann den neuen Explosivstoff im großen zu fabrizieren. Diese Fabrikation hatte aber nur ein kurzes Leben. Der erste Schreckschuß war die unerwartete Explosion von 1600 kg Schießbaumwolle in einer Fabrik bei Paris, der kurz darauf andere folgten. Ihre ungeheure Explosionskraft ließ sie trotzdem als Sprengmittel außerordentlich verwendbar erscheinen, aber sie für militärische Zwecke als Treibmittel zu benutzen, wollte nicht gelingen. Als dann gar in der Nähe von Wien ein Magazin mit 200—300 000 kg Schießbaumwolle scheinbar ohne Grund explodierte, und damit die Erscheinungen eines kleinen Erdbebens verbunden waren, schien sie wieder der Vergessenheit anheimfallen zu sollen.

Trotzdem ließen ihre im übrigen vorzüglichen Eigenschaften immer wieder von neuem Versuche zu ihrer Herstellung in womöglich jede Gefahr ausschließender Form anstellen. Die ältesten genau detaillierten und darum zum Vergleich mit den späteren sehr geeigneten

Angaben über ihre Darstellung verdanken wir Lenk, der sie in einem amerikanischen Patent vom Jahre 1864 niedergelegt hat, das wir in Kürze wiedergeben.

Die zu losem Garn gesponnene Baumwolle wird zu ihrer Entfettung mit einer Pottaschelösung gut ausgekocht, gut ausgewaschen und wieder getrocknet. Sie wird dann in eine Mischung von einem Gewichtsteil Salpetersäure von 1,48—1,50 spezifischem Gewicht und 3 Gewichtsteilen konzentrierter Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,84 getaucht. Der Apparat kann aus Gußeisen sein, und zwar werden auf 1 Teil Baumwolle 20 Teile des Säuregemisches verwendet. Die alsdann schwach ausgedrückte Baumwolle kommt nochmals in das zehnfache ihres Gewichtes eines frischen Säuregemisches, in welchem man sie 48 Stunden liegen läßt. Hernach wird sie herausgenommen und der Säureüberschuß durch Zentrifugieren möglichst entfernt. Hierauf bringt man sie in einen Trog, durch welchen ununterbrochen frisches Wasser fließt, um sie völlig von Säure zu befreien, welche Operation mindestens 14 Tage fortgesetzt werden muß. Dann wird sie in gewöhnlichem Seifenwasser ausgekocht, schließlich in eine verdünnte Lösung von Natronwasserglas getaucht und an der Luft getrocknet.

Diese Fabrikationsmethode hat sich dann bis zum Jahre 1884 in folgender Weise namentlich in England fortgebildet, und da neuere patentierte Angaben nicht mehr vorliegen, wird sie ziemlich unverändert noch zur Zeit ebenso betrieben werden. Z. B. wird in der Fabrik zu Stowmarket, welche jetzt einer Aktiengesellschaft mit $1\frac{1}{2}$ Millionen Pfund Sterling Aktienkapital gehört, und ganz ähnlich auch in einer zweiten Fabrik zu Waltham-Abbey folgender Art gearbeitet.



445. Mikroskopische Ansicht der Schießbaumwolle.

Als Rohstoff dienen Abfälle von bereits versponnenem Baumwollgarn, welche sonach schon in den Spinnereien von allen der rohen Baumwolle anhaftenden Unreinlichkeiten befreit sind. Diese Baumwolle wird in einem Reißwolf wieder zerfasert, dessen mit groben Stacheln versehene Walzen sie aufs beste auflockern. Die so aufgelockerte Wolle wird getrocknet. In Stowmarket geschieht dies in mit Dampfmänteln umgebenen Eisencylindern, und zwar unter Luftverdünnung durch ein saugendes Gebläse. In Waltham-Abbey gibt man die Wolle in eine Trockenmaschine, welche aus einem hohen Eisenkasten besteht, in dem sich eine Reihe endloser Tücher übereinander befinden, die abwechselnd in verschiedenen Richtungen durch außerhalb angebrachte Riemenscheiben bewegt werden. Das untere Tuch steht immer um etwa 20 cm gegen das obere vor, so daß die Baumwollschicht vom oberen auf das untere, sodann auf das dritte u. s. w. abgeworfen wird. Zwischen den einzelnen Tüchern sind doppelte eiserne Böden, in welche von außen Dampfrohre münden, und ein Gebläse treibt frische Luft den Tüchern entgegen. Die dem Trockenschranke entnommene Baumwolle läßt man in Blechgefäßen abkühlen.

Zur Überführung in Schießbaumwolle wird jetzt überall nur höchstgrädige Salpetersäure und Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,516 und 1,842 genommen. Die Säuren werden im Verhältnis von 1 : 3 in ein großes cylindrisches Standgefäß aus Gußeisen fließen gelassen, in dem sich eine eiserne mit Armen besetzte Welle dreht, welche durch Kegelräder angetrieben wird. Nachdem sie hier durchgemengt sind, werden sie in tiefer stehende gußeiserne mit Deckeln versehene Bottiche abgelassen, in denen sie bis zum Gebrauche stehen bleiben. Jeder dieser Bottiche hat einen konischen Boden mit Ablaßhahn, von welchem ein Stutzen in ein gemeinsames gußeisernes Ableitungsrohr abzweigt, welches zum Nitrierraum führt. Man nennt nämlich die Überführung der Baumwolle in Schießbaumwolle auch das Nitrieren derselben, im Anschluß an nitrum, den lateinischen Namen für Salpeter. Im Nitrierraum stehen dicke Backsteinwände, an welchen in Stowmarket für jedes Nitriergefäß ein besonderer Hohlraum, in Waltham-Abbey eine lange offene Rinne angebaut ist, in denen fortwährend kaltes Wasser fließt. In diese Hohlräume kommen viereckige gußeiserne Nitriergefäße, die an ihrem rückwärtigen Teil einen

Rost tragen. In Stowmarket ist noch im Gemäuer ein hölzerner Hebel drehbar befestigt, in welchen ein geriffelter gußeiserner Klotz eingesetzt ist. Man arbeitet stets mit der zwanzigfach größeren Säuremenge als notwendig, und bringt in jedes Gefäß etwa 75 kg. In diese wird eine kleine Menge Baumwolle, etwa $^1/_2$ kg, eingetragen, mit einer Eisengabel herumgerührt, und nach beendigter Nitrierung mit der Gabel oder dem obenerwähnten Hebel auf dem Roste ausgedrückt.

Da die Baumwolle trotz des Ausdrückens noch das elffache ihres Gewichtes an Säure teils verbraucht teils aufgesaugt hat, so läßt man ungefähr eine gleiche Menge in das Nitriergefäß nachlaufen. Nach 20 Beschickungen wird gewöhnlich das ganze Säuregemisch erneuert. Die Schießbaumwolle erfordert hiernach 11 Teile Säure, während die Nitroglycerinfabrikation, auf die wir hernach kommen, nur 7 Teile verbraucht. Der Grund hierfür liegt im großen Volumen der Baumwolle, zu deren völliger Umspülung größere Flüssigkeitsmengen nötig sind, während nach dem Ausdrücken immer noch viel Säure mechanisch aufgesaugt bleibt.

Trotz dieses großen Säureverbrauchs bedarf die Baumwolle einer sehr sorgfältigen Weiterbehandlung, um nicht zu niedrig oder gar nicht nitrierte Teilchen in der fertigen Schießbaumwolle zu erhalten. Aus diesem Grunde gibt man die nitrierte Baumwolle in kleine Steinzeugtöpfe, welche in einem von kaltem Wasser durchströmten Behälter zur Abkühlung und Nachnitrierung längere Zeit stehen bleiben.

In Waltham-Abbey kommt die nitrierte Wolle zum Ausschleudern auf Zentrifugen. Hierauf gibt man sie in einen großen Waschbottich, in welchem ein Schaufelrad rotiert, sodann wird sie ein zweites Mal ausgeschleudert. Ist dies geschehen, so kommt sie in andere Waschbottiche, in welchen Wasser durch Dampfröhren erwärmt wird, dem Soda, Kalk und Schlemmkreide zugesetzt werden, um die letzten Säurespuren abzustumpfen. Von hier gelangt sie in Holländer, wie sie in der Papierfabrikation (siehe Band VIII) üblich sind, welche die bisher verfilzte Schießbaumwolle zerreißen und in einen feinen Zeugbrei verwandeln. Aus dem Holländer kommt sie abermals in Waschbottiche, wird zum letztenmal gründlich ausgewaschen und bildet dann nach neuerlichem Ausschleudern die nasse aber fertige Schießbaumwolle, welche in Sammelgefäßen aufbewahrt wird.

In Stowmarket kommt die nitrierte Wolle aus den Steintöpfen in hölzerne Bottiche mit falschem Boden, welche im Fluße stehen, von dem durch eine besondere Leitung Wasser auch von oben hinein fortwährend in die Bottiche fließt. Nach erfolgtem Ausschleudern wird auch hier die Schießbaumwolle mit kochendem Wasser behandelt, um die noch anhaftende Säure zu entfernen. Man vermeidet aber die Anwendung von Alkalien, welche man für gefährlich hält, weil sie eine teilweise Zersetzung der Schießbaumwolle sollen verursachen können. Weiter kommt sie in gleicher Weise in den Holländer und in die Waschbottiche, wie in Waltham-Abbey.

Da für Bergbauzwecke nur trockene Schießbaumwolle verwendet wird, trocknet man sie zu Stowmarket und zwar in zwölf kleinen Hütten aus verzinktem Wellblech, welche etwa 20 m voneinander stehen, mit Hilfe erwärmter Luft. Die Schießbaumwolle für Kriegszwecke wird nur in nassem Zustande verwendet, und man preßt sie in hydraulischen Pressen, die einen Druck von 600 Atmosphären auszuüben gestatten, für diese in Patronen- oder Ziegelform. Die letzteren, in England üblich, tragen in vertiefter Schrift die Bezeichnung ihres Gewichtes, jeder von ihnen hat in der Diagonalrichtung zwei runde Durchbohrungen von etwa 5 cm Durchmesser. Die Schießbaumwolle enthält in diesem nassen Zustande etwa 20 % Wasser. Um sie zur Wirkung zu bringen, werden in die Höhlungen zwei trockene Schießwollpatronen eingesteckt und mit Kapsel und Zündschnur detoniert. — Die deutschen Torpedos enthalten dieses Sprengmaterial in Form eines 40—45 cm hohen oben offenen Kegels. Dieser ist aber nicht aus einem Stück gefertigt, sondern besteht aus einem schornsteinähnlichen Aufbau von Façonstücken, dessen einzelne Teile ohne Bindemittel nach Art des gewöhnlichen Mauerverbandes aufeinander gelegt sind. In die obere Öffnung wird für den Gebrauchsfall die Schlagröhre eingeschoben. Die Füllungen der österreichischen Torpedos stellen im Gegensatz hierzu einen cylindrischen Körper vor, der aber in seinen einzelnen Teilen wie der vorige aufgebaut ist.

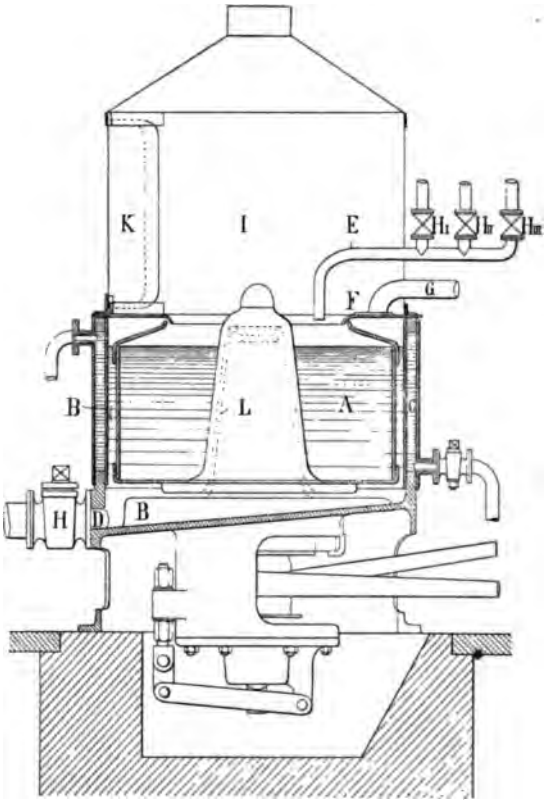
Die Schießbaumwolle wird in den Fabriken stets in feuchtem Zustande aufbewahrt. Zu diesem Zwecke sind zumeist auf einem freien Platze reihenweise Gruben hergestellt, in welche hölzerne Kästen eingelassen sind, deren Boden mit einem Flaschenzuge herausgenommen werden kann. In diese Behälter kommen die Kisten mit der feuchten Schießbaumwolle nur lose verschlossen.

Einen wesentlichen Fortschritt in dieser Fabrikation stellen erst wieder die neueren Apparate dar, welche man als Nitrierzentrifugen bezeichnet. Während, wie wir in dem beschriebenen älteren Verfahren sahen, die Baumwolle nach dem Nitrieren durch Auspressen vom größten Teil der Nitriersäure befreit, dann zentrifugiert und aus der Zentrifuge wieder herausgenommen wird, woran sich das Auswaschen schließt, erfolgen hier diese Operationen in einem Apparate.

Zwei Arten Nitrierzentrifugen sind durch ihre Patentierung allgemein bekannt geworden, von welchen wir die von Selvig und Lange hier näher betrachten wollen.

In dieser Nitrierzentrifuge steht der Säurebehälter fest, und eine gelochte Schleudertrommel der gebräuchlichen Art ist in ihm drehbar angeordnet. In diese Trommel kommt das zu nitrierende Material, und nach Beendigung des Prozesses wird die Säure aus dem Behälter abgelassen, worauf die Trommel in schnelle Umdrehung versetzt wird, um die vom nitrierten Produkt nur aufgesogene Säure durch Abschleudern ebenfalls zu entfernen.

Der Apparat ist ferner mit einer Einrichtung zur Regulierung der Temperatur der in ihm enthaltenen Säure vor und während des Nitrierens versehen, welche unbedingt für die Herstellung eines gleichmäßigen Nitroprodukts erforderlich ist. Unsere Abbildung stellt diese Nitrierzentrifuge im Querschnitt dar und gibt zugleich die sonstigen Nebenvorrichtungen wieder, die bei ihrem Gebrauch vorhanden sein müssen.



446. Nitrierzentrifuge.

B ist der cylindrische, mit schmiedeeisernem Kühl- oder Wärmemantel C versehene, im übrigen gußeiserne Säurebehälter, der gleichzeitig das Gestell des ganzen Apparates bildet.

Der Boden desselben ist geneigt, und an der Entleerungsöffnung D, welche sich an der tiefsten Stelle desselben befindet, ist der Säureablaßhahn H angebracht. A ist die teils aus Schmiedeeisen, teils aus Gußeisen angefertigte Schleudertrommel, welche den Säurebehälter möglichst ausfüllt. Die Spindel, auf welcher die Trommel befestigt ist, geht durch den auf dem Boden des Säurebehälters aufstehenden zentralen konischen Aufsatz L hindurch nach unten, wo sie die Antriebsriemenscheibe trägt und durch ein Spurlager unterstützt wird. Ihr Halslager ist der Einwirkung der Säure dadurch entzogen, daß der obere Rand des Aufsatzes L, in welchem es angeordnet ist, über dem Säurespiegel liegt.

Ein ringförmiger, bis über den Innenrand der Trommel C hinüberreichender Deckel F über dem Säurebehälter verhindert, daß beim Eintragen des zu nitrierenden

Materials in die mit Säure angefüllte Trommel etwas davon in den Zwischenraum zwischen letzteren und den Mantel C fällt.

J ist der über dem Behälter angeordnete Dunstfang (Giftherd), welcher mit der seitlichen Arbeitsthür K versehen ist, und der behufs Absaugens der Säuredämpfe oben mit dem Exhaustor verbunden ist. G ist ein gleichfalls zu letzterem führendes Rohr, welches in den Deckel F einmündet und die während des Schleuderns auftretenden Säuredämpfe abführt.

E ist das Säurezuflußrohr, welches durch die Hähne N_1, N_2, N_3 mit den drei verschiedenen Säurebehältern verbunden ist.

Das Nitrieren findet also in dem Apparate in genau derselben Weise wie in gewöhnlichen Nitrierapparaten statt. Nach Beendigung des Nitrierprozesses wird der Hahn N behufs Ablassens der überflüssigen Säure geöffnet, die Trommel in Umdrehung versetzt, und so die letzte Säure aus dem Nitriergut ausgeschleudert, welches darauf aus der Trommel herausgenommen und, wie üblich, gewaschen wird.

In der Nitrierzentrifuge können in 10 Stunden etwa 12 Operationen vorgenommen werden, und da bei jeder 5,5 kg Rohstoff zur Verarbeitung kommen, so beträgt ihre tägliche Leistung, wie die Fabrikpraxis ergeben hat, etwa 66 kg Baumwolle, aus welcher 93—112 kg Schießbaumwolle, je nach dem Stickstoffgehalt (siehe weiterhin), erzielt werden können.

Wir erwähnten oben, daß der größte Teil der Schießbaumwolle seine Anwendung in nassem Zustande findet. Daß Schießbaumwolle und auch manch anderer moderne Explosivstoff im nassen Zustande explodieren, war eine Entdeckung von allergrößter Wichtigkeit, die im Laboratorium Abels, des Beraters der englischen Regierung auf diesem Gebiete, gemacht wurde. Nasse Schießbaumwolle ist an und für sich völlig gefahrlos, läßt sich also z. B. in Ziegelform pressen u. s. f. Auf gewöhnliche Art ist sie überhaupt nicht anzuzünden, ja man kann durch ein Stück gepreßter Schießbaumwolle eine Flintenkugel schießen und wird nur die Öffnung bemerken, welche die Kugel in die Masse gerissen hat. Zündet man den nassen Körper an, so brennt er ruhig, fast langsam ab. Legt man dagegen auf ein Stück Schießbaumwolle eine Schlagröhre und entzündet diese durch eine Zündschnur, so ist die Wirkung eine totale, d. h. die Masse explodiert mit gewaltigster Kraftäußerung.

Zum Verständnis dieser Verhältnisse müssen wir jetzt zur chemischen Seite der Überführung der Baumwolle in Schießbaumwolle übergehen.

Die Baumwolle ist chemisch bezeichnet Cellulose und besteht aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Kommt Salpetersäure an sie, so wirken diese beiden Materialien aufeinander so ein, daß sich Wasser bildet, und der Rest des Salpetersäuremoleküls, das ist derjenige Teil derselben, welcher an dieser Wasserbildung nicht beteiligt ist, in das Molekül der Cellulose an die Stelle desjenigen Teils, den diese zur Wasserbildung hergegeben hat, eintritt. Daß man in der Praxis zum Nitrieren ein Gemisch von Salpetersäure und Schwefelsäure anwendet, erfolgt nur aus dem Grunde, weil Schwefelsäure stark wasseranziehend wirkt, wie wir das von S. 385 her wissen. Sie wird also alles Wasser schon im Moment seiner Entstehung an sich reißen, welches sonst durch seine Bildung während der Nitrierung die Salpetersäure verdünnen und die Nitrierung dadurch weniger vollständig werden lassen würde. Es gelingt so z. B., drei Moleküle Salpetersäure mit einem Molekül Cellulose in Wirksamkeit treten zu lassen, drei Salpetersäurereste mit ihr zu vereinigen.

$$C_6H_{10}O_5 + 3HNO_3 = C_6H_7O_2(NO_3)_3 + 3H_2O$$
Cellulose + Salpetersäure = Schießbaumwolle + Wasser.

Wenn wir uns nun das Molekül der Schießbaumwolle $C_6H_7O_2(NO_3)_3$ ansehen und es mit dem des Salpeters KNO_3, dem maßgebenden Bestandteile im alten Schießpulver, vergleichen, so sehen wir, daß in dem modernen Sprengmittel an die Stelle des Kaliums des Salpeters der Rest der Cellulose getreten ist. Während im alten Pulver Kohle und Schwefel zum Salpeter gemischt wurden, damit der Sauerstoff des letzteren etwas zum Verbrennen Geeignetes vorfindet, wir es im alten Pulver mit einem Gemische zu thun

hatten, ist die Schießbaumwolle nun kein Gemisch von Substanzen, sondern ein Molekül, das in sich alles zur Explosion Nötige enthält. Hier findet bei einer Entzündung der Sauerstoff sogleich im Molekül, zu dem er selbst gehört, den nötigen Kohlenstoff, um ihn zu Kohlensäure, den Wasserstoff, um ihn zu Wasser zu verbrennen, während der Stickstoff bei dem eintretenden Zerfall des Moleküls als solcher gasförmig plötzlich einen großen Raum beansprucht. Kurzum, das alte Pulver brennt ab, das Molekül der Schießbaumwolle zerfällt dagegen bei seiner Explosion, und so erklärt es sich, daß 1 kg Pulver in etwa $^1/_{100}$ Sekunde abbrennt, während 1 kg Schießbaumwolle zu seinem Zerfall nur $^1/_{50000}$ Sekunde braucht.

Nasse Schießbaumwolle ist also, wie erwähnt, auf gewöhnliche Art gar nicht zur Explosion zu bringen, ist scheinbar so unbrauchbar wie nasses Pulver. Während letzteres aber, wenn es einmal feucht geworden ist, als wertlos weggeworfen werden muß, liegen die Verhältnisse bei der Schießbaumwolle ganz anders. Erhält sie in ihrem nassen Zustande einen im physikalischen Sinne ungeheuer raschen Stoß, so geraten sozusagen die Atome in ihrem Molekül in Unordnung, und nun zersetzt sie sich momentan, nun explodiert sie, ganz gleich, ob sie naß oder trocken ist. Sie explodiert auf Initialzündung, wie man sagt, indem sich jetzt ihr Sauerstoffgehalt ihres Kohlenstoffs und Wasserstoffs bemächtigt.

Solch ungeheuren Stoß kann man nun durch die Explosion gewisser Körper, wie z. B. durch Knallquecksilber erzeugen; versieht man also nasse Schießbaumwollballen mit einem Zünder aus derartigem Stoff, so hat man jetzt ein ganz furchtbares, kriegstechnisch brauchbares Sprengmittel. Mit diesem vor Anbringung des Zünders gänzlich gefahrlosen nassen Explosionsstoff füllt man daher zur Zeit die Torpedos und ähnliches.

Weiter ist uns auch leicht verständlich, weshalb die Schießbaumwolle, und die Gründe gelten auch für alle anderen modernen Explosivstoffe, rauchlos explodiert. Sie liefert bei der Explosion ja nur Kohlensäure, ein durchsichtiges Gas, Wasserdampf, der bei der hohen Temperatur gleichfalls gasförmig ist, und Stickstoff, den wir ebenfalls nicht zu sehen vermögen. Das alte Pulver dagegen enthält in seinem Salpeter das Metall Kalium (s. S. 436). Dieses geht bei der Explosion in schwefelsaures Kali und ähnliches über und ist in seinen sämtlichen Verbindungen ein fester Körper, der in allerfeinster Verteilung durch die Explosion in die Luft geschleudert infolge seiner Zerstäubung sich dort eine ziemliche Zeit schwebend erhält und als weißgrauer Pulverdampf erscheint.

Bevor wir zur Herstellung des Nitroglycerins übergehen, wollen wir erst diejenige des jetzt öfters erwähnten Knallquecksilbers besprechen. Es selbst ist derartig gefährlich zu handhaben und explodiert so furchtbar, daß es an und für sich als Sprengmittel nicht in Betracht kommen, sondern nur zur Entzündung anderer weniger gefährlich zu handhabenden Explosivstoffe dienen kann. Wir geben hier seine Darstellung nach der Vorschrift von Liebig (s. S. 308), ohne auf die dabei sich abspielenden höchst komplizierten chemischen Vorgänge näher einzugehen.

Quecksilber wird ohne äußere Wärmezufuhr in einem großen Glaskolben in Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,4 gelöst, so daß die gebildeten roten Dämpfe im Gefäße bleiben. Dazu muß der Glaskolben wenigstens 18 mal die Mischung fassen. Nachdem das Metall vollständig verschwunden ist, läßt man die Lösung in ein zweites Gefäß laufen, in dem sich etwa das 6fache vom Gewichte des Quecksilbers an Weingeist befindet; hierauf gießt man das Gemisch wieder in den Kolben zurück, in welchem die Auflösung des Metalls vorgenommen war. Schwenkt man jetzt die Flüssigkeit im Kolben um, so werden sehr bald die in ihm noch verbliebenen Dämpfe absorbiert sein. Nach 5—10 Minuten beginnen Bläschen aufzusteigen, und auf dem Boden des Kolbens scheint sich eine stark lichtbrechende spezifisch schwerere Flüssigkeit abzusondern, deren gleichmäßige Vereinigung mit der übrigen Flüssigkeit man durch gelindes Schütteln bewirkt. Es kommt bald der Zeitpunkt, bei dem sich die Masse durch Ausscheiden von metallischem fein verteiltem Quecksilber schwärzt, und es beginnt eine äußerst stürmische Reaktion, bei der ein dichter weißer Dampf nebst Spuren von salpetriger Säure ausgestoßen werden. Jetzt mäßigt man die Reaktion durch allmähliches Zufließenlassen einer zweiten gleich großen Portion Weingeist. Alsbald verschwindet die Schwärzung, und es beginnt die Aus-

scheidung des Knallquecksilbers, welches nach dem Erkalten der Flüssigkeit als krystallinische Masse am Boden des Gefäßes liegt. Seiner Gefährlichkeit halber kann es nur in hölzernen Gefäßen unter Wasser aufbewahrt werden.

Bei seiner außerordentlichen Brisanz braucht man zur Füllung der Zündhütchen oder gewöhnlichen Zündkapseln nur sehr wenig von ihm und mischt es deshalb mit Salpeter und Schwefel, für Initialzündungen aber mischt man es mit chlorsaurem Kali. Diese Zusätze werden ihm in feuchtem Zustande beigemengt, indem man sie mit ihm auf Marmortafeln mittels hölzerner Reiber vermischt. Die Körnung des Gemisches erfolgt sodann auf die Art, daß man sie durch Siebe mit entsprechend großen Löchern drückt. Die so erhaltenen Stückchen werden langsam auf Papierunterlagen getrocknet und sodann in die Kapseln gefüllt, was heutzutage von Maschinen besorgt wird. Gewöhnliche Zündhütchen enthalten 15 – 16 mg Zündmasse, welche man vor dem Wiederherausfallen durch Aufgießen einer Harzlösung schützt, die nach dem Verdunsten des Lösungsmittels ein zugleich gegen Feuchtigkeit schützendes Häutchen hinterläßt. 1 kg in Knallquecksilber verwandeltes Queckfilber genügt zur Füllung von 40 000—60 000 Zündhütchen.

Das Nitroglycerin, zu dem wir jetzt übergehen, ist kurze Zeit nach Entdeckung der Schießbaumwolle im Laboratorium dargestellt worden. Man ließ nach ihrer Auffindung sehr bald das Gemisch von Salpetersäure und Schwefelsäure auf alle möglichen Stoffe, die ein ähnliches Ergebnis wie bei der Baumwolle voraussetzen ließen, einwirken. So hatte Sobrero in einem Pariser Laboratorium es auf Mannit wirken lassen und einen Nitromannit erhalten, den er für ein geeignetes Sprengmittel hielt, ebensolche Nitroverbindungen auch aus Milchzucker dargestellt, und bei der Gelegenheit erwähnt er auch, daß, wenn man zu sirupdickem Glycerin eine Mischung von Schwefelsäure und Salpetersäure gießt, eine außerordentlich heftige Einwirkung stattfindet. Bringt man dagegen umgekehrt Glycerin tropfenweise zu obiger Säuremischung und kühlt fortwährend, so löst es sich ohne bemerkbare Reaktion auf. Auf Wasserzusatz scheidet sich infolge dieser Verdünnung jetzt aus der Flüssigkeit ein Öl aus, welches durch mehrmaliges Waschen mit Wasser von den noch anhängenden Säuren befreit werden kann. „Es ist olivenfarben", sagt Sobrero, „ohne Geruch, aber von scharf aromatischem Geschmack. Ein wenig von ihm auf die Zunge gebracht, erregt anhaltende Migräne, und geringe Mengen genügen zur Vergiftung eines Hundes. Beim Erhitzen detoniert diese Substanz." Daß dieses Öl einst eine der wichtigsten Grundlagen der Sprengstofftechnik sein werde, ahnte er nicht. Man war ja nur gewohnt, feste Körper aber nicht Öle zu Explosivstoffen zu verwenden, und so erwähnt er seine Explosionsfähigkeit als das allerwenigst Interessante erst zuletzt fast nebensächlich.

Dreizehn Jahre später, nämlich 1860, macht Sobrero erst wieder Mitteilungen über diesen Körper, indem er genauere Vorschriften zu seiner Darstellung gibt und ausführlicheres über seine Explosivität mitteilt, ohne aber auch jetzt an eine praktische Verwertung zu denken. Seit 1864 hat dann der Schwede Alfred Nobel das „Sprengöl" im großen fabriziert und als Sprengmittel in Bergwerke eingeführt, indem er so ziemlich nach der Vorschrift Sobreros gearbeitet zu haben scheint. Das gut mit Wasser gewaschene Nitroglycerin scheint anfangs direkt in die Bohrlöcher gegossen worden zu sein, die man nötigenfalls mit Thon dichtete, worauf es durch eine in das Öl geschobene Patrone zur Explosion gebracht wurde.

Im Jahre 1867 trat dann Nobel mit seinem Dynamit hervor, dieses bestand und besteht aus Nitroglycerin, welches er von Kieselguhr, das ist eine feine Infusorienerde, hatte aufsaugen lassen. Er erkannte sofort die Überlegenheit dieses Pulvers, ursprünglich hieß es Patent-Pulver-Dynamit, über das alte Schießpulver, und da das Präparat wirklich das leistete, was der Erfinder von ihm behauptet hatte, gelangte es bald zu ausgedehnterer Anwendung. Und dieses so bekannt, berühmt und berüchtigt gewordene Sprengmittel verdankt seine Erfindung einem Zufall. Kieselguhr benutzt man gern als Verpackungsmaterial für gefährliche Flüssigkeiten, indem es ein großes Aufsaugungsvermögen besitzt, so daß, falls die betreffenden Flaschen auf dem Transport zerbrechen, ihr Inhalt in der Kiste zurückgehalten wird und nicht aus ihr herausfickert. So erging es

nun mit einer Flasche mit Nitroglycerin, sie zerbrach in der Kieselguhrverpackung, und Nobel stellte Versuche mit dem mit Nitroglycerin zufällig getränkten Kieselguhr an, welche zeigten, daß dieses nun nicht mehr ölige, sondern pulverige Material ein ausgezeichnetes Sprengmittel repräsentiert. Wir werden weiter sehen, wie nach einer Reihe von Jahren dann, indem man das Kieselguhr durch die verschiedensten anderen Substanzen zu ersetzen suchte, Sprengmittel erfunden worden sind, die wohl nicht mehr zu übertreffen sein werden.

Näheres über die Dynamitfabrikation ist erst im Jahre 1873 durch Capitaine bekannt geworden. Als Rohmaterialien galten damals in einer Dynamitfabrik Schwefelsäure, Salpeter, Glycerin und Infusorienerde.

Als Schwefelsäure diente die konzentrierte Säure vom spezifischen Gewicht 1,84. Die Salpetersäure wurde in der Fabrik aus Chilisalpeter selbst bereitet. Das Glycerin war ein Rohglycerin von 30 – 32° Beaumé von dunkelbrauner Farbe (siehe im Abschnitt Seife die heutige Glycerindarstellung). Die Infusorienerde wurde aus der Lüneburger Heide bezogen. Die Salpetersäure wurde deshalb in der Fabrik selbst hergestellt, weil eine so konzentrierte Säure, wie sie die Fabrik benötigte, nämlich eine solche von 45° bis 48° Beaumé nicht im Handel war. Dies ist auch teilweise bis heute üblich geblieben, indem man in diesen Fabriken so verfährt, daß man in eiserne Retorten ein Gemisch von 400 kg Chilisalpeter mit der entsprechenden Menge Schwefelsäure gibt. Jeder Ofen enthält zwei eiserne Retorten, und das Feuer wird in sechs Stunden so geleitet, daß die eine Retorte warm, die andere dagegen kühl geworden ist. An jede Retorte schließen sich sechs Bombons, welches eine andere Bezeichnung für Tourills ist, die kaskadenartig hinter der Ofenwand aufgestellt sind. Die Bombons sind beim Beginn der Destillation leer, und man hört mit dem Erhitzen der Retorten auf, wenn der Hals des vierten Bombons anfängt warm zu werden.

In gußeisernen Kesseln wurden sodann 650 kg so hergestellter Salpetersäure mit 1300 kg Schwefelsäure gemischt, und da sich das Gemisch erwärmt, wurde es erst nach vierundzwanzigstündiger Abkühlung weiter verwendet. Alsdann ließ man es in einen besonders hergerichteten Apparat laufen. Dieser bestand aus einem hölzernen Bottich von etwas über 2 m Höhe und $1\frac{1}{3}$ m Durchmesser, der innen mit Bleiplatten ausgekleidet war. Seine Wandungen waren mit zwei Bleischlangen belegt, die sich in dichten Windungen an ihnen hinzogen, welche von kaltem Wasser durchströmt wurden. Das Anbringen zweier Schlangen geschah zu dem Zweck, damit man, wenn die eine während des Betriebes schadhaft wurde, sogleich die andere benutzen konnte. Im Bottich war auch eine Rührvorrichtung angebracht, welche aus mit Blei überzogenen Eisenplatten bestand. Vermittelst einer Zugvorrichtung bewegte sie sich in ihm auf und nieder. Sie wurde mit Hilfe von über Rollen gehenden Seilen durch drei Arbeiter in Bewegung gehalten, welche in einer Entfernung von 10—15 m vom Apparate sich hinter einem Erdwalle befanden. Indem man Kühlwasser von 6 – 8° verwendete, gelang es, die Temperatur im Bottich auf etwa 15—16° zu halten. Man las sie an einem großen Thermometer ab, das durch den Deckel des Apparates ins Innere reichte. Oberhalb desselben auf dem Dache befanden sich in einem Behälter 315 kg Glycerin, die mit der Säuremenge auf einmal nitriert werden sollten. Man ließ sie in etwa daumendickem Strahle zulaufen, und dies erforderte bis zu 2 Stunden Zeit, indem man gleichzeitig dafür sorgte, daß die Temperatur der Mischung nicht über 18° stieg, was, wenn gut aufgepaßt wurde, nicht schwer zu erreichen war, aber eine Unvorsichtigkeit im Rühren war stets mit Gefahr verbunden.

Mit dem vollständigen Einlaufen des Glycerins ist auch seine Überführung in Nitroglycerin beendet, indem seine Nitrierung eine fast augenblickliche ist. Jetzt ließ man den Inhalt des Apparates vermittelst einer Bleirinne in einen hölzernen Bottich von 4 m Durchmesser und fast 3 m Höhe laufen, welcher zur Hälfte mit Wasser gefüllt war, indem man fortwährend mit hölzernen Krücken rührte. Das Nitroglycerin setzt sich in der durch das Wasser verdünnten Säure zu Boden und wird von hier aus mit Hähnen aus Steinzeug abgezogen. Man erhält so 500—600 kg Nitroglycerin, die noch zweimal mit reinem Wasser und schließlich mit einer verdünnten Sodalösung gewaschen werden.

Die verdünnte Säure ließ man in den vorbeiströmenden Fluß laufen, dem auf diesem Wege täglich 3500—4000 kg Schwefelsäure einverleibt wurden.

Selbst nach dieser Behandlung war das Nitroglycerin noch nicht ganz säurefrei, und so wurde es in einem dritten Waschhause nochmals mit Sodalösung und zwar so lange durchgearbeitet, bis Lackmuspapier keine saure Reaktion mehr anzeigte. Sodann wurde das Öl abgelassen und durch ein Filztuch in ein mit Blei ausgeschlagenes Reservoir als gebrauchsfertige Ware filtriert. Die Ausbeute an Nitroglycerin schwankte jener Zeit bei den Operationen zwischen 475 und 600 kg, blieb also hinter der theoretisch möglichen von 775 kg beträchtlich zurück.

Was die Infusorienerde anbetrifft, so hat sie im rohen Zustande drei zu entfernende Bestandteile, Wasser, organische Substanzen und gröbere Steine. Zur Entfernung der beiden ersteren wird sie in einem Ofen, welcher vier übereinander liegende Etagen enthält, in denen sie allmählich von der oberen nach den unteren vorgeschoben wird, bei Rotglut calciniert. Die organischen Substanzen, die man als gefährlich für die Stabilität des Nitroglycerins ansieht, werden dabei verbrannt. Hierauf wird sie mit Walzen zerdrückt und gesiebt, womit sie zur Verwendung fertig ist.

Die Mischung der Infusorienerde mit dem Nitroglycerin fand folgender Art statt. Es wurden 25 kg Erde in einem flachen Holzkasten mit 75 kg Nitroglycerin übergossen, in welchem Arbeiter die Masse mit der bloßen Hand tüchtig durchkneteten. Eine Zeitlang trugen sie hierbei Guttaperchahandschuhe, doch erwiesen sich diese als überflüssig. In einer halben Stunde sind Öl und Infusorienerde genügend gemischt, worauf man die Masse zur Sicherheit noch durch ein Sieb rieb, womit das Dynamit fertig war.

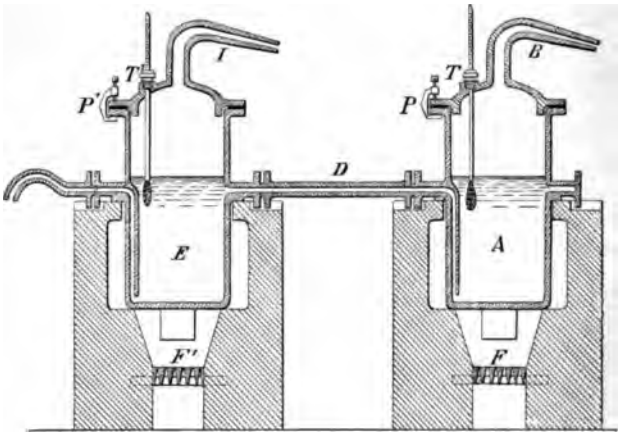
Bis die betreffende Fabrik zu der hier mitgeteilten Art der Fabrikation gekommen war, hatte sie folgende Unglücksfälle hinter sich. In der Mitte der sechziger Jahre gegründet, befand sich ursprünglich die ganze Anlage in einem einzigen großen Gebäude. Eine Explosion vernichtete aber das Gebäude samt allen in ihm befindlichen Personen. Nach dieser Katastrophe verteilte man die Fabrikation über eine Anzahl von Schuppen. Als man dann mit der Herstellung von Dynamitpatronen begann, veranlaßte die Unvorsichtigkeit eines Arbeiters hierbei eine Explosion in einer der hierfür bestimmten Abteilungen, doch ging nur diese allein in die Luft. Um aber nicht wieder alle Patronenarbeiter gleichzeitig in Gefahr zu bringen, verteilte man jetzt deren Darstellung auf neun Schuppen, in denen je zwei Mann arbeiteten. Da entstand noch eine, bis zur Zeit der Beschreibung, die letzte Explosion aus folgender Ursache. Die Bleirinne, welche das gewaschene Öl vom zweiten nach dem dritten Schuppen führte, war leck geworden, und eine beträchtliche Menge Öl war in den die Schuppen trennenden Erdwall gesickert. Es gelangte auch zu den Röhren der Warmwasserheizung, welche drei Schuppen heizte, und als sich am Ausgange dieser erwärmten Röhren bedenkliche rote Dämpfe, die Zersetzungsprodukte des Nitroglycerins, zu zeigen begannen, suchte man sie sofort zu entfernen. Ein unvorsichtiger Schlag auf eine der mit Öl überzogenen Röhren veranlaßte aber eine Explosion, der Damm flog in die Luft und 500 kg Öl im benachbarten Schuppen explodierten ebenfalls. Aus dieser Katastrophe entstanden so bedeutende Betriebsstockungen, zumal der leitende Chemiker mit verschwunden war, daß man den Plan faßte und ausführte, noch eine Reservefabrik anzulegen, die hinter einem nahen Hügel in kleinerem Maßstabe, aber ganz nach den Grundsätzen der größeren Fabrik aufgebaut wurde, um bei einem etwaigen Unfall der einen Fabrik die andere zum Betriebe heranziehen zu können.

Wir haben die von Capitaine gegebene Beschreibung der Nitroglycerinfabrikation deshalb ausführlich wiedergegeben, weil sie ein so anschauliches Bild von ihr gibt. Zugleich sieht man, wie gering die Ansprüche an völlige Ausnutzung der Materialien damals noch waren, indem das Ganze nach heutigen Anschauungen doch ziemlich roh gehandhabt wurde. Wir werden jetzt aber auch im Anschluß an diese Fabrikationsweise leicht die neuesten Verbesserungen in der Fabrikation, wie sie Ballabene 1888 mitgeteilt hat, verstehen.

Zur Herstellung des Nitroglycerins dienen in den neueren Fabriken große Bleigefäße von 1 m Durchmesser und 1 m Höhe. Sie reichen für die Verarbeitung einer

Post von 100 kg destilliertem, also reinem Glycerin von 31° Beaumé, 450 kg Schwefelsäure und 250 kg Salpetersäure von 1,501 spezifischem Gewicht aus, wobei aus 100 kg Glycerin 212 kg Nitroglycerin erhalten werden. Der Apparat enthält 100 m Kühlschlangen und ist mit einem Deckel verschlossen, durch dessen Glasfenster man den Verlauf der chemischen Reaktion verfolgen kann. Die entstehenden Dämpfe entweichen durch einen Gasabzug ins Freie. Als Rührer bedient man sich gepreßter Luft, die durch eine Rohrleitung in den Boden des Gefäßes einmündet und den Inhalt in fortwährender stürmischer Bewegung hält, während das Glycerin durch ein zweites Rohr einfließt. Die Operationstemperatur ist 30°, was wesentlich zur Verbesserung der Ausbeute beiträgt.

Die Trennung des Nitroglycerins von den Säuren durch Einlaufenlassen in Wasser, wobei die Säuren verloren gingen, wird seit 1875 vermittelst besonderer Separatoren ausgeführt. Dies sind große viereckige trichterförmige Bleigefäße mit Glasfenster an der einen Seite und mit Glasdeckel versehen. Ein Glasfuß mit Ablaßhähnen dient zum Ablassen der Säuren und des Nitroglycerins und ermöglicht die scharfe Trennung beider, da die Trennungsschicht deutlich sichtbar ist. Auf diese Weise werden 97% der theoretischen Menge der wiedergewinnbaren Säuren zurückgewonnen. Die bei 25° stattfindende Trennung dauert etwa eine Stunde. Das so getrennte Nitroglycerin fließt in den Filtrierschuppen, während die noch immer Spuren von ihm enthaltenden Säuren in die Nachscheidung gelangen. Die weitere Reinigung des Nitroglycerins geschieht in einem Bleibottich durch Einfließenlassen in kaltes, durch Luftrührung bewegtes Wasser, welches etwa dreimal gewechselt wird. Hieran schließt sich ein Waschen mit heißem Wasser, Durcharbeiten mit dünner Sodalauge und nochmaliges Auswaschen mit reinem Wasser.



447. Nutzbarmachung der Abfallsäure nach Chardonnet.

In der Nachscheidung werden durch tagelanges Stehenlassen der Säuren die letzten Spuren Nitroglycerin zum Absetzen gebracht und fortgenommen. Und nun läßt sich eine Wiedergewinnung der ursprünglich verwendeten Säuren ermöglichen. Von Salpetersäure ist natürlich nicht viel vorhanden, deren wirksamer Rest, die Nitrogruppe, steckt ja zumeist im Nitroglycerin. Aber die Schwefelsäure ist doch vollständig übrig geblieben, sie diente ja nur als wasseranziehendes Mittel im Verlaufe des Prozesses, sie ist also wiedergewinnbar. Um zu zeigen, wie verschieden derartige Aufgaben technisch gelöst werden können, wollen wir zwei für die Wiedergewinnung gebräuchliche Methoden in Kürze beschreiben.

Zur Wiedernutzbarmachung des in der eben angegebenen Weise vom Nitroglycerin getrennten verdünnten Säuregemisches dient, um seine Salpetersäure zu erhalten, ein Denitrifikator genanntes Gefäß. Dieses ist ein 4 m hoher, mit säurefesten Steinen ausgekleideter Cylinder, in welchem über Bimsstein die Rohsäure herabströmt, während von unten Luft und Wasserdampf eingeblasen werden. Mit diesen gelangt die Salpetersäure in eine Vorlage und sammelt sich mit dem spezifischen Gewicht 1,33 hier an, während die Schwefelsäure mit dem spezifischen Gewicht 1,64 aus dem Apparat abfließt, worauf beide als Abfallsäuren namentlich an Düngerfabriken verkauft werden.

Nach Hilaire de Chardonnet soll die Wiedergewinnung aber so erfolgen, daß eine methodische Wiederbelebung der Säuren ihre zum Nitrieren nicht verbrauchte Menge wieder zu benutzen gestattet, indem man ungefähr $^3/_4$ des aus einer Nitrierzentrifuge Ausfließenden unverändert wieder benutzt und das vierte Viertel des Einweichungsbade

aus einem Gemisch von Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,50 und neuer Schwefelsäure ergänzt wird. Die überschüssige alte Säure wird nun durch Destillation wieder belebt. Indem man das Säuregemisch erhitzt, wird die Salpetersäure ausgetrieben, welche nach und nach immer schwächer wird, wenn man die Temperatur allmählich, nicht sprungweise bis auf 200° erhöht. Es genügt sodann, wie gewöhnlich weiter zu erhitzen, um die Schwefelsäure zu konzentrieren, welche Fabrikationsmethode in folgender Weise zu einer kontinuierlichen gemacht wird.

Zwei gußeiserne Blasen A und E (Abb. 447), welche mit Helm und Abzugsrohr versehen sind und deren Wandstärke 20—30 mm beträgt, werden auf direktem Feuer erhitzt. Das Rohr D, welches die beiden Blasen miteinander verbindet, reicht einerseits bis nahe zum Boden der ersten Blase und mündet anderseits in die zweite Blase in der Nähe des Flüssigkeitsspiegels derselben ein. An der zweiten Blase ist ein Auslaßrohr dergestalt angeordnet, daß es die in der zweiten Blase enthaltene Flüssigkeit nach außen abfließen läßt, sobald diese den im voraus bestimmten Spiegel oder Stand erreicht; dieses Rohr ist nämlich ein Heber, welcher von selbst in Gang kommt und ebenso wie das Verbindungsrohr D die Flüssigkeit vom Boden der Blase abzieht. Die Dichtungsflächen sind abgeschliffen, mit Asbest belegt und mittels Bolzen PP¹ gegeneinander gepreßt. In die in den Blasen befindliche Flüssigkeit tauchen Thermometer TT¹ ein. Die Abzugsröhren BI führen die Dämpfe in Verlängerungsstücke und Schlangenrohre oder Kondensationsgefäße aus Steinzeug, in denen die Dämpfe sich kondensieren.

Die erste Blase A wird auf eine Temperatur von 130 oder 170° (je nach der Konzentration, welche die Salpetersäure erhalten soll) erhitzt. Die wiedergewinnbare Salpetersäure destilliert aus dem Gemisch in dem Maße ab, wie das letztere in die Blase eingeführt wird, und sammelt sich am Ende der ersten Kühlschlange. Die spezifisch schwerer gewordene Schwefelsäure sinkt auf den Boden der Blase. Aber unter 200° enthält diese teilweise gereinigte Schwefelsäure noch Salpetersäure, welche man austreiben muß. Diesem Zwecke dient die zweite Blase, welche auf einer Temperatur von 200—210° erhalten wird. Die Schwefelsäure verliert hier den Rest der Salpetersäure und das überschüssige Wasser, es destilliert schwache Salpetersäure über, welche aufgefangen werden kann, während die auf etwa 62° Beaumé konzentrierte Schwefelsäure auf den Boden der Blase sinkt, von wo sie durch den oben erwähnten Heber nach außen abgeleitet wird.

Wir gehen nunmehr zur Sprenggelatine über. Dynamit wird, wie wir wissen, erhalten, indem man Nitroglycerin von Kieselguhr aufsaugen läßt. Selbstverständlich hat es nicht an Versuchen gefehlt, das Kieselguhr durch andere Stoffe zu ersetzen. Wir wollen nun nicht die zahlreichen auf Grundlage dieser Idee hergestellten Sprengmittel erwähnen, sondern gleich zu dem vollkommensten von ihnen allen übergehen, das ist die Sprenggelatine.

Während Kieselguhr und ähnliche Substanzen das ölige Nitroglycerin nur als toter Ballast beschweren und zugesetzt wurden, um ihm die Eigenschaft der Flüssigkeit zu nehmen, wird zur Herstellung der Sprenggelatine Schießbaumwolle in Nitroglycerin eingetragen. Es bildet sich dann ein gelatineähnliches Gemenge. Diese Sprenggelatine genannte Masse ist eine etwa 7—10prozentige Lösung von Schießbaumwolle in Nitroglycerin. Sie ist als Sprengmittel wohl nicht mehr zu übertreffen, und ihre Wirksamkeit ist größer als die jedes der beiden sie zusammensetzenden Bestandteile, wie Berechnungen und Versuche ergeben. Anderseits ist es aber auch möglich, sehr viel Schießbaumwolle mit verhältnismäßig wenig Nitroglycerin zu gelatinieren, dann erhält man Sprenggelatinen, die sich zur Herstellung rauchloser Pulver eignen. Sprenggelatine für Sprengzwecke wird etwa so dargestellt, daß das Nitroglycerin in kupfernen Pfannen auf 60° erwärmt wird, worauf mit den Händen Nitrocelluloſe bis zur Entstehung einer zähen Masse eingemengt wird. Nachdem dies Gemisch sodann 3—6 Stunden in der Pfanne geblieben ist, deren Temperatur inzwischen durch heißes Wasser auf über 90° gehalten wird, hat es ein vollständig durchscheinendes Aussehen angenommen, worauf man es noch 2—3 Tage in einem auf 50° erwärmten Raume liegen läßt. So einfach diese Fabrikationsmethode ist, so ungemütlich ist sie auch, und man ist bestrebt gewesen, das Mischen mit der Hand durch Maschinen zu ersetzen, welche Versuche jetzt von Erfolg gekrönt zu sein scheinen.

Über die rauchlosen Pulver, zu denen wir jetzt kommen, sind wir zumeist durch Mitteilungen Guttmanns aus dem Jahre 1894 unterrichtet. Die große Zahl derselben, die jetzt alljährlich erfunden und patentiert wird, läßt nur den in dieser Industrie Thätigen beurteilen, was von diesen Vorschlägen brauchbar ist. Die meisten dieser Patente sind natürlich nicht die Gebühren wert, die für sie erlegt werden.

Die rauchlosen oder im deutschen Heere rauchschwach genannten Pulver erregten zuerst 1888 die Aufmerksamkeit des großen Publikums, als in den Zeitungen berichtet wurde, daß die französische Armee ein solches eingeführt hätte, zumal als ihr hierin nach kurzer Frist die deutsche Heeresverwaltung folgte.

Wie das anfänglich verwendete französische rauchlose Pulver zusammengesetzt gewesen ist, ist nicht bekannt geworden, aber auch in Frankreich scheint man sehr bald zu jener Gattung von ihnen übergegangen zu sein, die auf der Benutzung der Sprenggelatine beruhen, auf welchem Wege sie heute fast alle hergestellt werden.

Das erste ziemlich rauchlose Pulver ist das Schultze-Pulver gewesen, das seit den sechziger Jahren als Jagdpulver geringe Verwendung gefunden hat und aus nitriertem Holze mit einer Zumischung von Salpeter bestand. Die ersten wirklich rauchlosen Pulver sind aber in England seit 1882 dargestellt worden, kamen jedoch nicht zur Verwendung, weil es damals noch keine für sie genügend zuverlässigen Gewehrläufe und Projektile gab.

Nur auf die guten Erfolge der längere Zeit fortgesetzten Versuche zweier schweizerischer Fachmänner Rubin und Hebler hin, welche mehr als 10 Jahre hindurch die Anwendung von Kleinkalibergewehren empfahlen, die ein stärkeres als das alte Schießpulver erfordern (siehe oben), schien es eine lohnende Aufgabe zu sein, neue Pulver zu erfinden, welche für den Gebrauch in derlei Waffen geeignet wären. Anderseits erschien noch im Jahre 1886 die Idee, gepreßte Schießbaumwolle oder gar Sprenggelatine in Gewehren verwenden zu wollen, selbst Fachmännern geradezu absurd, und trotzdem haben sich also gerade auf dieser Grundlage in den seitdem verflossenen wenigen Jahren die meisten rauchlosen Pulver entwickelt.

Man kann die jetzt gebräuchlichen von ihnen in drei Klassen einteilen, erstens solche, in denen nur Schießbaumwolle zur Verwendung kommt, sei es in unlöslicher oder löslicher Form. Zweitens solche, bei denen Nitroglycerin in Verbindung mit löslicher oder unlöslicher Schießbaumwolle zur Verwendung kommt, und endlich drittens solche, in welchen Schießbaumwolle zusammen mit einem Nitroderivat eines aromatischen Kohlenwasserstoffs (siehe weiterhin) enthalten ist.

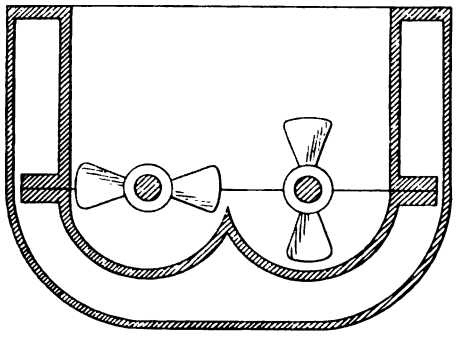
Wir haben soeben die Ausdrücke lösliche und unlösliche Schießbaumwolle gebraucht, das bedeutet folgendes. In der Gleichung, welche wir als Bildungsgleichung der Schießbaumwolle auf S. 464 gegeben haben, ist angenommen, daß drei Moleküle Salpetersäure mit der Cellulose in Wirksamkeit treten, das erhaltene Produkt speziell Trinitrocellulose sei. Die Verhältnisse liegen aber nicht ganz so einfach. Es ist vom theoretischen Standpunkte aus denkbar, auch Mononitro-, Dinitro- u. s. w. Cellulose herzustellen, indem bis sechs Nitrogruppen in ihr Molekül eintreten könnten. Je mehr Nitrogruppen, um so kräftiger, wie wir jetzt verstehen, der Sprengstoff, aber die Fabrikation im großen erlaubt kaum über drei Gruppen hinauszugehen. Nitriert man jedoch anderseits absichtlich schwach, so erhält man Dinitrocellulose, und diese zeigt wiederum Eigenschaften, die sie für viele Zwecke der Trinitrocellulose überlegen sein lassen. Die Dinitrocellulose zeichnet sich nämlich vor dieser dadurch aus, daß sie in vielen Lösungsmitteln löslich ist. So löst sich schwach nitrierte Baumwolle z. B. in einem Gemisch von Äther und Alkohol, und diese Flüssigkeit ist das uns allen so wohl bekannte Kollodium, sie löst sich auch in Aceton, dessen Gewinnung wir bei der Holzverkohlung kennen lernen, und Essigäther und ähnlichen Stoffen. In anderen quillt sie nur auf, indem sie in ihnen ihre Struktur völlig verliert, wie z. B. im Nitroglycerin. Im geschmolzenen Kampfer löst sie sich ebenfalls mit Leichtigkeit, und das entstehende Produkt ist das Celluloid, auf das wir nach Erledigung der Sprengstoffe zurückkommen wollen. Löst man nun z. B. schwach nitrierte Baumwolle in Aceton und setzt, sagen wir, dieser Lösung auch noch Kampfer zu, der sich ebenfalls löst, so wird nach dem Verdunsten des Acetons eine mit Kampfer verdünnte, also weniger

kräftig explodierende Nitrocellulose zurückbleiben. Dieser Weg, der nun nach den verschiedensten Richtungen variiert werden kann, ist vielfach einer derjenigen zur Erzeugung rauchloser Pulver gewesen.

Was nun die zuerst genannte Klasse der rauchlosen Pulver anbetrifft, so ist bei ihnen die Schießbaumwolle in irgend einem Lösungsmittel gelöst, und der nach dessen Verdunsten bleibende Rückstand in Form von Blättchen oder Körnern gebracht. Solche Pulver sind die der französischen und deutschen Armee. In Frankreich soll Äther-Alkohol als Lösungsmittel dienen, in Deutschland Aceton. Einige Privatfabriken bringen diese Pulver auch mit Kampferzusatz in den Handel.

Zur zweiten Klasse gehören also Pulver aus Nitroglycerin und Schießbaumwolle. Wichtigstes von ihnen ist der Nobelsche „Ballistit", welcher aus gleichen Teilen Nitroglycerin und Nitrocellulose unter Zusatz von 2% Anilin besteht. Letzteres ist im chemischen Sinne eine Base und soll jede Spur Säure, die das Material noch enthalten, oder die im Laufe der Zeit sich wieder in ihm bilden könnte, abstumpfen, also seine Haltbarkeit verbürgen. Dieser Ballistit wurde mit einigen Abänderungen in Italien, Österreich und für gewisse Geschütze auch in Deutschland acceptiert.

Die dritte Klasse gewährt den weitesten Spielraum. Eine sehr große Anzahl von Kohlenwasserstoffen, namentlich alle die aus dem Steinkohlenteer herstammenden, z. B. das Benzol, das Toluol, lassen sich leicht nitrieren, d. h. auch in sie läßt sich ein Rest der Salpetersäure, die Nitrogruppe, einführen, und sie dienen dann in Gemischen mit Schießbaumwolle als Explosivstoffe. So wird Indurit aus unlöslicher Schießbaumwolle, die man sich mit Nitrobenzol vollsaugen läßt, hergestellt, und wird der Plastomenit so gewonnen, daß man nitrierte Cellulose in geschmolzenem Dinitrotoluol löst.



448. Knetmaschine zum Lösen der Nitrocellulose im Lösungsmittel.

In neuerer Zeit hat die Schießbaumwolle eine gewisse Konkurrenz bei der Herstellung der Pulver durch eine Nitrocellulose anderen Ursprungs bekommen. So gut wie Cellulose in der Baumwollfaser steckt, steckt sie natürlich auch in jeder anderen Pflanzenfaser, und in stark zusammengeklebtem Zustande bildet sie bekanntlich das Holz der Bäume. Die chemische Zusammensetzung aller Cellulosen ist die gleiche, sie ist also $C_6H_{10}O_5$. Da jetzt sehr viel Holz zu Cellulose für die Papierfabrikation zerkocht wird (s. eine Methode S. 368), so ist diese Cellulose aus Holz ein auch für Nitrierungszwecke leicht zu habendes Material geworden, wird auch für diesen Zweck verwendet, und das aus ihr dargestellte Material führt den Namen Holznitrocellulose.

Sehr wichtig für die haltbare Herstellung des rauchlosen Pulvers ist auch die Beschaffenheit der Lösungsmittel, denn, wenn sie auch abgedunstet werden, so bleiben doch nichtflüchtige Verunreinigungen, die sie enthalten haben können, in den Pulvern zurück. So ist Äther häufig schwach sauer, und so wird auch Aceton vor seiner Verwendung aufs genaueste geprüft, es darf z. B. nicht mehr als 0,005% Säure enthalten.

Zur Herstellung derartiger Pulver wird die Nitrocellulose bei 40° völlig getrocknet und dann im beistehend abgebildeten Apparat mit dem Lösungsmittel übergossen und gut durchgearbeitet. Für Schießbaumwolle verwendet man ungefähr das gleiche Gewicht an Lösungsmitteln. Wenn der Teig nach 3—10stündigem Kneten aus der Maschine herausgenommen wird, hat er etwa die Konsistenz von weichem Gummi.

Seine weitere Behandlung richtet sich nach der Form, die das Pulver erhalten soll. Zumeist wird er zwischen zwei erwärmten Walzen durchgeführt, und wenn deren Temperatur etwa 60° beträgt, verdunstet der größte Teil des Lösungsmittels sehr rasch. Man erhält auf diese Art lange dünne Bogen, die sogleich auf einer Schneidemaschine in kleine Blättchen

zerschnitten werden. Sollen statt dessen Würfel fabriziert werden, so läßt man eine genügende Anzahl von Bogen nochmals ein passend weit gestelltes warmes Walzenpaar passieren. Unter ihrem Druck kleben infolge des in ihnen noch enthaltenen Restes an Lösungsmittel die Blätter zu einem dickeren Karton zusammen, dessen Zerschneiden die Würfel liefert. Derartiges Pulver ist vollkommen durchscheinend. Um den Rest des Lösungsmittels, der ihm sehr hartnäckig anhaftet, zur Verdunstung zu bringen, bleibt es wochenlang in Trockenhäusern liegen.

In sehr merkwürdiger Weise erfolgte anfangs die Darstellung speziell des Ballistits. Die ursprüngliche Nobelsche Methode hatte nämlich darin bestanden, daß man Schießbaumwolle möglichst viel Nitroglycerin aufsaugen ließ, dann den Überschuß des letzteren abpreßte und nun durch Erwärmen des Rückstandes die Gelatinierung herbeiführte, womit die Herstellung des Ballistits beendet war. Da fand man denn, daß, wenn man Nitroglycerin mit der Schießbaumwolle in sehr viel heißes Wasser bringt und gut rührt, auch hier die Vereinigung beider stattfindet. Nach beendeter Gelatinierung wird zuerst durch Pressen das Wasser möglichst entfernt, dann die Gelatine vermittelst Walzen zu Blättern ausgerollt und schließlich geschnitten.

Die sehr wichtige Beobachtung von Abel und Dewar, daß sich Nitroglycerin und Schießbaumwolle, wenn man sie in einem gemeinschaftlichen Lösungsmittel löst, ebenfalls vereinigen, findet seine praktische Verwertung zur Herstellung des Cordits, des rauchlosen Pulvers der englischen Armee. Zur Herstellung von diesem werden die Nitrocellulose und das Nitroglycerin mit einer genügenden Menge Aceton als Lösungsmittel in der oben abgebildeten Mischmaschine durchgearbeitet, worauf das Ganze nach $3^1/_2$ Stunden das Aussehen eines Teigs hat. Dieser gelangt weiter in eine Maschine, welche ihn durch ein Mundstück in Form von Fäden oder Schnüren herauspreßt, die schließlich in passende Längen zerschnitten werden.

Die spezielle Herstellung weiterer rauchloser Pulver wollen wir nicht beschreiben. Ihre Eigenschaften wechseln natürlich nach ihrer Zusammensetzung, ihrer Erzeugungsweise und nach dem Zwecke, für den sie bestimmt sind. Dabei ist ihre Explosionskraft so groß, daß ihr Einfüllen in die Patronenhülsen aufs genaueste erfolgen muß. Während beim alten Pulver eine ein wenig vermehrte Ladung nicht viel zu bedeuten hatte, kann hier ihre geringe Vermehrung schon gefahrdrohend werden. Manche von ihnen entwickeln einen solchen Gasdruck, daß bereits das $1^1/_2$fache der Ladung zum Zerspringen der Läufe führen kann. Welch neue Aufgabe also, haltbareren Stahl als bisher für Gewehrläufe herzustellen; vielleicht ist der Nickelstahl dazu berufen. Wegen der blättchenartigen Form der neuen Pulver sind die älteren Maschinen zum Füllen der Hülsen überhaupt nicht brauchbar, neuerfundene sollen aber jetzt tadellos funktionieren.

Über die jetzigen Gewehre verschiedener Länder und die in ihnen verwendeten Pulver sei noch folgendes mitgeteilt:

Land	Gewehr		Geschoßgewicht in Grammen	Ladungsgewicht in Grammen	Pulvergattung	Anfangsgeschwindigkeit in Metern
	System	Kaliber				
Deutschland	Mauser Repetiergewehr	7,9	14,5	2,5	Rauchschwaches Pulver	620
Frankreich	Lebel „	8	15	2,7	Rauchloses Pulver	610
England	Lee-Metford „	7,7	14	?	Cordit	646
Schweiz	Schmidt „	7,5	14	1,9	Rauchloses Pulver	590
Österreich	Mannlicher „	8	15,8	2,75	„ „	600
Spanien	Remington Einzellader	11	25	4,75	Schwarzpulver	450
Schweden	„ „	8	15,5	3,5	Rauchloses Pulver	586

Der in den Gewehren gemessene Gasdruck war beim schweizerischen Gewehr 2200 Atmosphären, beim englischen 2519 Atmosphären, beim schwedischen 2390 Atmosphären. Zum Vergleich sei bemerkt, daß erst wenige allerneueste Lokomotiven 14 Atmosphären Druck in ihren Dampfkesseln haben, obgleich die Wandstärke eines Gewehrlaufs und die des Kesselblechs dieser Maschinen nicht viel verschieden sind.

Über die Leistungsfähigkeit verschiedener Pulver und Sprengmittel sei weiter folgendes mitgeteilt. 1 kg Schießpulver läßt sich in einen Würfel von 100 mm Seite ein-

schließen und entwickelt in einhundertstel Sekunde über 200 000 Meterkilogramm, d. h. vermag 200 000 kg 1 m hoch zu heben. 1 kg Dynamit, welches nur einen Würfel von 90 mm Seite einnimmt, entwickelt in einfünfzigtausendstel Sekunde etwa 1 Million kg Arbeitsleistung.

Wollte man durch Federn die Arbeit z. B. aufstapeln, welche 1 kg Pulver in einhundertstel Sekunde zur Verfügung stellt, so müßten 10 Männer fast eine Stunde lang in voller Thätigkeit sein. Um jedoch in dem verschwindend kleinen Zeitteilchen, in welchem 1 kg Dynamit detoniert, in einer fünfzigtausendstel Sekunde also, dieselbe Leistung zu geben, wären gegen 2000 Millionen Menschen oder gegen 300 Millionen Pferdekräfte erforderlich. Beim Atmen des Menschen verbrennt 1 kg Kohlenstoff zu Kohlensäure erst in etwa 50 Stunden. Bei der Atmung oder beim Verbrennen von 1 kg Kohle in einem Ofen werden, ebenso wie bei der Explosion von 3 kg Dynamit, etwa achttausend Wärmeeinheiten, entsprechend einer Leistung von 3 Millionen Meterkilogramm, entwickelt; nur geschieht dies beim Dynamit in einem so kleinen Zeitraume, daß außerordentlich hohe Temperaturen entstehen, welche das Volumen der Gase und damit die Spannung ungeheuer vermehren. Während 5 kg Pulver auf einer 19 mm starken Eisenplatte entzündet, verpuffen, ohne dieselbe zu biegen, schlägt $^1/_2$ kg Dynamit eine Eisenplatte von 26 mm vollkommen durch, womit eine Pressung von über 10 000 Atmosphären verbunden ist.

Zur Zeit ist das Erfinden neuer Sprengstoffe, die sich an die hier beschriebenen anschließen, mit welchen ernstlich zu rechnen wäre, ein wenig in den Hintergrund getreten. Es mag das daran liegen, daß die jetzt bereits bekannten und bewährten noch in vieler Beziehung hinsichtlich ihrer Herstellung und Brauchbarkeit gar nicht genügend ausgearbeitet und durchforscht sind. Dazu kommt als zweites Wichtiges, daß die Brauchbarkeit eines Sprengstoffes weniger das Ergebnis einer chemischen Untersuchung ist — die Chemie läßt noch eine unermeßliche Zahl solcher denkbar erscheinen, wie wir gleich sehen werden — als vielmehr von einem glücklichen Zusammentreffen rein technischer Kunstgriffe abhängt. Wir brauchen dabei nur an die technisch so leicht ausführbare Umwandlung der Schießbaumwolle in rauchloses Pulver mit Hilfe von Lösungsmitteln oder an ihre Gelatinierung mit Nitroglycerin zu denken.

Wenn wir jetzt all das, was wir über Sprengstoffe vom griechischen Feuer an bis zum rauchlosen Pulver erfahren haben, an unserem Geiste vorüberziehen lassen, so muß uns eines besonders auffallen. Die Kraft aller dieser Mittel entstammt dem Salpeter. Entweder steckt er direkt in ihnen wie im alten Pulver, oder ein Teil seines Moleküls ist in andere Körper wie Cellulose, Glycerin und sonstiges übergeführt worden und bewirkt nun die Brauchbarkeit dieser so erhaltenen Stoffe für den vorliegenden Zweck. Und in der That ist es so, alle Versuche, den Salpeter oder die Nitrogruppe für Explosionsstoffe durch etwas anderes oder gar etwas besseres ersetzen zu wollen, sind trotz aller darauf verwandten Mühe bis heute für Kriegszwecke wenigstens völlig resultatlos verlaufen.

Wir haben in diesem Buche bereits ein Salz kennen gelernt, welches dem Salpeter in chemischer Beziehung sehr ähnlich zusammengesetzt ist, das ist das chlorsaure Kali. Ein Blick auf die Formeln beider führt uns das sogleich vor Augen.

NO_3K	ClO_3K
Salpeter	Chlorsaures Kali.

Wir sehen, im chlorsauren Kali ist Chlor Cl an die Stelle des Stickstoffs N im Salpeter getreten, während die sonstigen Bestandteile beider Salze 3 Sauerstoffatome und ein Kaliumatom O_3K sind.

Dieses Salz wurde von Berthollet Ende des 18. Jahrhunderts entdeckt, und indem er seine Ähnlichkeit mit dem Salpeter erkannte, schlug er es als Ersatz für diesen vor. Die französische Regierung ließ denn auch in einem ihrer Staatsbetriebe ein Pulver herstellen, in das an Stelle des Salpeters chlorsaures Kali gegeben wurde. Vormittag begann die Fabrikation und nachmittags waren bereits einige Arbeiter und eine zufällig zuschauende Dame tot, indem sie bei der unbeabsichtigten Explosion des Gemisches ums Leben kamen. Zu einem brauchbaren Sprengmittel gehört nämlich nicht nur eine starke Explosionsfähigkeit,

sondern auch eine verhältnismäßige Gefahrlosigkeit beim Herstellen und Aufbewahren desselben, und diese Eigenschaften gehen Gemischen, in welchen man den Salpeter durch chlorsaures Kali ersetzt, durchaus ab. Immerhin sind Chloratpulver besonderer Zusammensetzung für Sprengzwecke fabriziert worden, wie die Schlußtabelle lehrt.

Daß der Kalisalpeter also das salpetersaure Kali nicht durch Natronsalpeter vertreten werden kann, wissen wir bereits, wohl aber kann ihn salpetersaures Ammoniak vertreten. Derartige Explosivstoffe eignen sich aber ebenfalls nur als Sprengmittel in Bergwerken, Tunnelbauten und ähnlichem. Wir wollen hier zum Schluß eine Tabelle von Roberts anschließen, die in kürzester Form uns die Bekanntschaft einer ganzen Anzahl Explosivstoffe, deren Herstellung wir nicht besonders besprochen haben, die wir uns aber trotzdem ganz gut vorzustellen vermögen, ermöglicht. Sie zeigt uns zugleich, was alles außer den Salpetermischungen und Nitrogruppen schon hat zu Sprengmitteln dienen sollen, sowie welche Kräfte die einzelnen „Pulver" entwickeln.

Die Versuche sind von Roberts so angestellt worden, daß er das „ballistische Pendel" benutzte, um aus dessen Rückschlag die „Energie" des Explosivstoffes zu berechnen. Von jedem Pulver wurden 10 g verwendet.

Explosivstoff	Zusammensetzung	Prozentgehalt	Energie in Kilogrammometern
Dynamit Nr. 1	Kieselguhr	25	1369
	Nitroglycerin	75	
Sprenggelatine Nr. 1	Nitroglycerin	92	2098
	Nitrocellulose	8	
Nitroglycerin	Nitroglycerin	100	1884
Gelatinedynamit	Sprenggelatine	80	1805
	Kalisalpeter	14	
	Holzmehl	6	
Gelignit	Sprenggelatine	60	1507
	Kalisalpeter	28	
	Holzmehl	12	
Knallsatz	Knallquecksilber	80	798
	Chlorsaures Kali	20	
Knallquecksilber	Knallquecksilber	100	487
Ammoniakpulver	Salpetersaures Ammoniak	91,28	1176
	Holzmehl	5,72	
	Schwefel	3	
Ammonnitratpulver	Salpetersaures Ammoniak	69,43	1309
	Trinitrophenol (Pikrinsäure)	30,57	
Pikratpulver 1	Kalisalpeter	53,55	967
	Pikrinsäure	46,55	
Pikratpulver 2	Natronsalpeter	72,13	536
	Pikrinsäure	27,87	
Pikratpulver 2	Natronsalpeter	49,12	1012
	Pikrinsäure	50,88	
Pikratpulver 2	Natronsalpeter	44,59	997
	Pikrinsäure	55,41	
Ammonsalpeter und Kaliumferrocyanid	Salpetersaures Ammoniak	72,29	521
	Kaliumferrocyanid	27,71	
Securit	Salpetersaures Ammoniak	82,64	1443
	Dinitrobenzol	17,36	
Kalisalpeter und Dinitrobenzol	Kalisalpeter	66,79	818
	Dinitrobenzol	33,21	
Chlorsaures Kali und Dinitrobenzol	Chlorsaures Kali	70,86	1213
	Dinitrobenzol	29,14	
Chlorsaures Kali und Paraffin	Chlorsaures Kali	79,40	997
	Paraffin	20,60	
Chlorsaures Kali und Schießbaumwolle	Chlorsaures Kali	53,16	1369
	Schießbaumwolle	46,84	
Schießbaumwolle	Schießbaumwolle	100	818
Maximpulver	Kalisalpeter	78,18	298
	Schwefel	10,40	
	Paraffin	11,42	
Schießpulver	Marke $\frac{\text{R. L. G. 2}}{\text{A}}$		498
Schießpulver	„ $\frac{\text{R. L. G. 2}}{\text{D}}$		516

Explosivstoff	Zusammensetzung	Prozentgehalt	Energie in Kilogrammmetern
Schießpulver	R. L. G. 2		539
Schießpulver, braunes	„ F		259
Geschützpulver	„ C. H		655
Brilsprengpulver	Schießpulver		
	Kaliumferrocyanid / Kalisalpeter	82,06	
	Paraffin	4,78	738
	Eisenoxyd	1,14	
	Holzkohle	12,02	
Roburit	Ammoniaksalpeter	82,00	
	Dinitrobenzol	16,70	1414
	Feuchtigkeit	1,30	
Tonit	Nitrocellulose	50,20	
	Salpetersaurer Baryt	47,40	
	Kohlensaures Natron	0,72	1220
	Feuchtigkeit	1,54	
Potentit	Nitrocellulose	59,60	
	Kalisalpeter	36,80	1250
	Feuchtigkeit	2,75	

Obige Tabelle gibt uns außer der Zusammensetzung der Pulver auch ihre Leistungsfähigkeit für die Zwecke des Krieges, also die Anfangsgeschwindigkeit, welche sie Gewehrkugeln erteilen, an. Das ununterbrochene Bestreben, die Unglücksfälle, welche schlagende Wetter in Kohlengruben veranlassen, möglichst zu vermindern, führt auf diesem friedlichen Gebiete der Sprengstofftechnik dazu, Methoden aufzusuchen, die es ermöglichen, die relative Gefährlichkeit eines Sprengstoffes in Beziehung auf Schlagwetter vor seiner praktischen Verwendung im Betriebe festzustellen. Eine ganz neue Methode hierfür hat Siersch seit Anfang des Jahres 1896 in Anwendung gebracht. Er photographiert nämlich die bei der Explosion der verschiedenen Sprengstoffe auftretenden Lichterscheinungen. In der beifolgenden Tafel sind eine Anzahl Bilder, welche er so erhalten hat, wiedergegeben. Aus den Abbildungen folgt, daß die relative Sicherheit eines Sprengstoffes um so größer ist, je geringer die Lichterscheinung ist, die er bei der Explosion gibt. Ein bloßer Blick auf die Lichtbilder der Sprengstoffe bestätigt uns dieses, wenn wir die von Winkhaus 1895 veröffentlichten Minimalladungen zum Vergleich heranziehen, mit denen dieser noch schlagende Wetter, die 6,5—7 % Grubengas (Methan) enthielten, zur Explosion bringen konnte. Diese Minimalladungen betrugen:

Gelatine-Dynamit	50 g	Westfalit	251 g
Guhrdynamit	58 g	Dahmenit	251 g
Roburit	154 g	Progressit	550 g

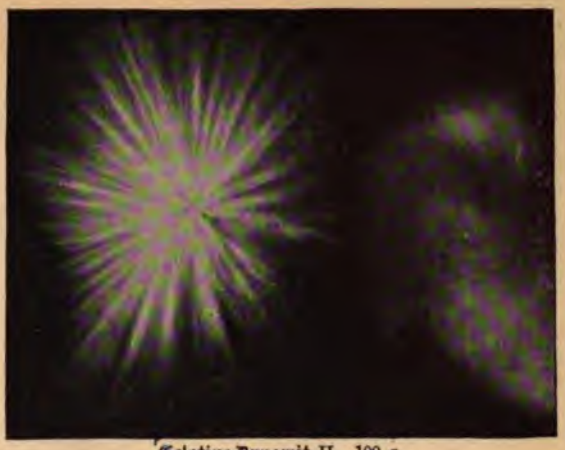
Weiter ist es z. B. eine den Sprengtechnikern schon lange bekannte Thatsache gewesen, daß Sprengstoffe von Ammoniumnitrat mit abnehmendem Gehalt ihrer Kohlenstoffkomponente gegen Schlagwetter relativ sicherer werden. Auch dieses zeigen die Photographien 17—20 aufs deutlichste, kurzum, die Brauchbarkeit der Methode für den vorliegenden Zweck ist eine wohl nicht zu bezweifelnde.

Die Kunstfeuerwerkerei. Die vorstehenden Mitteilungen behandeln den Gebrauch der Explosivstoffe für die Zwecke des Krieges, der Jagd und der Industrie. Aber auch für unterhaltende Zwecke wird das alte Schießpulvergemenge benutzt, um nach Zusatz anderer Stoffe bei freudigen Ereignissen teils durch die Helle, Farbenpracht und Lebendigkeit des Feuers, teils durch vielfältige rasche Bewegungen das Auge zu erfreuen, während es nur selten in dieser Form als Signal zu ernsten Zwecken im Kriege und bei Schiffsunfällen Verwendung findet.

Da das Pulver, wenn es zur Verwendung kommt, hier verhältnismäßig langsam verbrennen soll, so wendet man es nicht in gekörntem Zustande, sondern als Mehl an. Setzt man solchem Mehlpulver Eisenfeilspäne zu, so geben sie bei der Entzündung die sprühenden weißen Funken, während Kupferspäne grüne, Zinkfeile blaue Farben geben. Kochsalz färbt die Flamme gelb, salpetersaures Strontian (Strontian ist ein dem Calcium ähnliches Element) purpurrot, während salpetersaurer Kalk ein ziemlich unerfreuliches

Nitroglycerin. 100 *g*.

Schießbaumwolle. 10



Gelatine-Dynamit II. 100 *g*.

monsalpeter + 8 % Kohlenstoffverbindungen.

Progressit. 100 *g*.

Karbonit. 100 *g*.

Roburit. 100 *g*.

Westfalit. 100 *g*.

mmonsalpeter + 6 % Kohlenstoffverbindungen.

Dahmenit. 100 *g*.

gelbrot liefert. Kienruß, Mehlpulver und Salpeter erzeugen die gelben Funken des prachtvollen Goldregens und die Sterne der Raketen. Eine sehr große Verwendung findet in der Feuerwerkerei auch das chlorsaure Kali, von dem wir ja wissen, daß es weit heftiger als Salpeter die Verbrennung unterhält. Die mit ihm herzustellenden Sätze werden unter Spiritus zusammengerieben und hernach an der Luft wieder trocknen gelassen, weil beim trockenen Verreiben der Materialien Explosionen gar nicht auszuschließen sind; der Unerfahrene läßt am besten seine Hand von derartigen Mischungen überhaupt.

Ein vorzügliches Rotfeuer erhält man z. B. durch Zusammenreiben von 6 Teilen chlorsaurem Kali, 40 Teilen salpetersaurem Strontian, 13 Teilen Schwefelblumen und 2 Teilen Kohle. Zum Grünfeuer kommt man durch Mischen von 30 Teilen salpetersaurem Baryt (Barium ist ebenfalls ein dem Calcium sehr ähnliches Element), 2 Teilen chlorsaurem Kali, 2 Teilen Quecksilberchlorür, 4 Teilen Schwefel und 1 Teil Kohle. Dagegen hat man für Weißfeuer, also bengalische Flammen, das chlorsaure Kali nicht nötig. Eine sehr gute Mischung für dasselbe besteht aus 192 Teilen Salpeter, 57 Teilen Schwefel und 29 Teilen Schwefelantimon. Eine andere Mischung, das sogenannte indianische Weißfeuer besteht aus 24 Teilen Salpeter, 7 Teilen Schwefel und 2 Teilen Schwefelarsen. In einer Papierhülse oder Schachtel entzündet, brennt es sehr ruhig ab und dient speziell zu Signallichtern. Sein durch den Arsengehalt außerordentlich giftiger Dampf schließt jede Verwendung in geschlossenen Räumen aus, wie denn alle bisher genannten Mischungen sich wegen des von ihnen entwickelten Rauches nicht für „Zimmerfeuerwerk" eignen. Wird solches gebraucht, wie etwa in Theatern, so verzichtet man auf übermäßigen Glanz, der im kleinen geschlossenen Raume auch nicht so nötig ist, und benutzt für Rotfeuer ein zusammengeschmolzenes Gemisch von 3 Teilen salpetersaurem Strontian mit 1 Teil Schellack, das hernach wieder gepulvert wird, während eine auf dem gleichen Wege bereitete Mischung von 6 Teilen salpetersaurem Baryt mit 1 Teil Schellack das nötige Grünfeuer liefert.

Das Celluloid. Wir wollen, wie erwähnt, im Anschluß an die Sprengmittel das Celluloid behandeln, weil sein wichtigster Bestandteil Nitrocellulose, also Schießbaumwolle ist, die hier nicht als Explosionsmittel zur Verwendung gelangt, sondern deren merkwürdige Eigenschaft, mit Kampfer zusammen ein für die verschiedensten Zwecke brauchbares Material zu geben, ausgenutzt wird. Sahen wir im vorhergehenden, daß Nitrocellulose mit Nitroglycerin eine Gelatine liefert, so verbindet sie sich mit Kampfer zu einer harten Masse, die als Ersatz für Horn, Elfenbein, Schildpatt, Hartgummi und ähnliches dienen kann, und aus der die meisten Gegenstände, die sonst nur aus diesen teilweise recht teuren Materialien hergestellt werden konnten, ebenfalls und kaum von schlechterer Qualität herstellbar sind. Erfinder des Celluloids ist der Amerikaner Hyatt gewesen. In Europa wurde es erst durch die Pariser Weltausstellung vom Jahre 1878 bekannt.

Die Methoden seiner Herstellung haben stark gewechselt, und wahrscheinlich wird es noch heute nach mehreren Verfahren fabriziert, welche wohl nicht alle ein identisches Produkt liefern, da es sich hier nicht um ein chemisches Individuum, sondern um ein Gemisch von Substanzen handelt, auf dessen schließliches Verhalten die Art der Herstellung stets von Einfluß sein muß.

Die Methode Hyatts war folgende: Baumwolle wurde in der uns bekannten Weise nitriert und die Nitrocellulose im Holländer feingemahlen. Um sie möglichst von Wasser zu befreien, wurde sie hierauf einem starken Druck ausgesetzt und sodann mit Kampfer zusammen unter erneuter Wasserzugabe vermahlen. Ein Gewichtsteil Kampfer auf zwei Gewichtsteile Nitrocellulose wurde zumeist angewendet. Setzt man während des Vermahlens Farbstoffe zu, so erzielt man gefärbtes Celluloid. Nach innigster Mischung aller Substanzen wird wiederum durch Pressen das Wasser möglichst entfernt und die so erhaltene Masse nunmehr in die Formen gebracht, die es später als fertiges Produkt zeigen soll. Während sie in den Formen sich eingepreßt befindet, werden diese durch Dampf oder auf andere Weise bis auf 130° erhitzt, und zwar erhält man sie bei dieser Temperatur, bis der Kampfer alle Nitrocellulose gelöst hat. Die Umwandlung in Celluloid geht sehr

rasch vor sich und ist in dem Augenblicke vollendet, wo die Masse die höchste Temperatur erreicht hat. Das Ergebnis ist eine durchaus gleichmäßige feste Masse.

Die Herstellung von künstlichem Elfenbein unter Zuhilfenahme solchen Celluloids erfolgt nun z. B. in folgender Art. Die feingemahlene ausgepreßte Nitrocellulose wird mit einem Teil Elfenbein und einem halben Teil Kampfer vermahlen und sodann ziemlich getrocknet. Dann gibt man einen halben Gewichtsteil Äthylnitrit — das ist ein Lösungsmittel nach Art des Acetons (s. S. 472) — zu, mit dem sie so lange in Berührung bleibt, bis sie von diesem Mittel ganz durchzogen ist. In einem geheizten Cylinder erfolgt hierauf unter starkem Druck das Zusammenpressen. Das erhaltene Fabrikat sieht wie Elfenbein aus, ist frei von Strichen und Flecken, wird von Feuchtigkeit nicht angegriffen und läßt sich durch erneutes Erhitzen unter Druck in beliebige Formen pressen.

Eine andere Art der Celluloiddarstellung ist in Deutschland patentiert worden. Dieser zufolge löst man in einer Mischung von 100 Teilen Äther und 25 Teilen Kampfer 50 Teile Nitrocellulose und behandelt die erforderlichenfalls mit Farben versetzte Masse so lange zwischen Walzen, bis sie plastisch geworden ist. Durch Liegen an der Luft werden die Platten, indem der Äther völlig verdunstet, bald hart und polierbar. Soll das Material zur Herstellung von Billardbällen, Kegelkugeln und ähnlichem dienen, so werden die zusammengerollten Platten geraspelt, bei 106° getrocknet und in Metallformen bei 120° gepreßt.

Die Zähigkeit des Celluloids ist eine sehr große, indem es nach den verschiedensten Richtungen gebogen werden kann, ohne zu zerbrechen, wie man besonders an den runden, aus ihm hergestellten Kinderkämmen wahrnehmen kann. Seine Elastizität zu bewundern, hatten wir auch alle Gelegenheit an jenen durchsichtigen Bällen, die, in bunten Farben hergestellt, vor einigen Jahren infolge ihres hübschen Aussehens die Freude der Kinderwelt bildeten, aber bereits wieder vergessen zu sein scheinen, indem sie den älteren Gummiball doch nicht zu verdrängen vermochten.

Was nun die oft behauptete Gefährlichkeit anbetrifft, die ihm in Rücksicht auf seinen Gehalt an Nitrocellulose anhaften soll, so steht es damit folgendermaßen. Selbstverständlich ist ein Material, das bis zu einem Drittel aus Schießbaumwolle besteht, gut brennbar; doch brennt es nur, wenn man es direkt anzündet, aber selbst dann, ohne zu verpuffen. Auf Druck und Schlag explodiert es nicht, also hat es nichts gerade Gefahrdrohendes an sich. Auch sind durch Celluloid herbeigeführte Unfälle kaum bekannt geworden.

Die Erfindung der Feuerzeuge und der Phosphor.

Im vorigen Abschnitte haben wir die Explosivstoffe kennen gelernt und gesehen, wie ein auf sie fallender Feuerfunke genügt, jene Leistungsfähigkeit, die in Form von chemischer Energie in ihnen aufgespeichert ist, auszulösen, eine Kraft in Wirksamkeit treten zu lassen, gigantischer als alle sonst bekannten Kräfte, die in ihrer Stärke mit den Naturkräften selbst wetteifern kann.

Was ist aber eigentlich das Feuer und was die es begleitende Flamme, die solche Wirkungen hervorbringen können? Die Lösung dieser Frage soll uns nunmehr beschäftigen. Wir alle sehen täglich brennendes Feuer, achten aber kaum auf dasselbe, und doch, eine wie hilflose und schwerfällige Masse wäre die Menschheit, wenn es dieses nicht auf Erden gäbe. Wie ratlos kommen wir uns vor, wenn wir im Dunkel der Nacht das Schächtelchen mit Streichhölzern nicht zu finden vermögen, und wie wenig Rücksicht nehmen wir auf diese unscheinbaren Hölzchen, wenn wir in ihrem Besitze sind. Das ist aber das Los fast jeder Erfindung, die mehr als einen überflüssigen Luxus befriedigt. Bei dem Eisen bedankt man sich nicht für die Sense, und beim Brote denkt man nicht an den Pflug, und von der Taschenuhr nimmt man es als selbstverständlich hin, daß sie zu jeder Sekunde die richtige Zeit angibt.

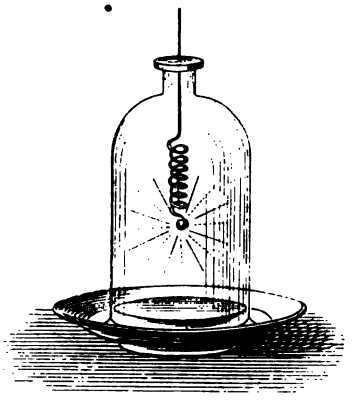
Wenn die Alten in der Prometheussage das Feuer als göttlichen Ursprungs und alleiniges Eigentum des Zeus schildern, dem es durch List entwendet werden mußte, so zeigen sie sich dankbarer als wir, denn sie zollten in Prometheus jedenfalls dem Erfinder der Kunst, Feuer anzumachen, ihre Verehrung. So alt die Kunst, Feuer hervorzurufen,

auch sein mag, so hat sie sich doch nur sehr allmählich entwickelt, und ihre Ausbildung zur jetzigen Stufe der Vollkommenheit hat sie kaum 25 Jahre erreicht, wenn wir die nicht mehr übertroffenen sogenannten schwedischen Zündhölzer als vollkommenste Stufe zum Feuergeben betrachten.

Sehen wir von der Prometheussage ab und legen uns die Frage vor, wie wirklich die Menschen zum ersten Feuer gekommen sind, so drängt sich uns die Annahme auf, daß sie es dem in Bäume einschlagenden Blitze verdankt haben werden, indem sie allmählich lernten, ein solches Feuer dauernd zu unterhalten. Einen Fingerzeig hierfür sehen wir in der Verehrung, die die Alten dem Feuer zollten, indem sie es in Tempeln von heiligen Jungfrauen, wenn wir z. B. an die Vestalinnen denken, bewachen ließen, indem der Fremde, der sich am Herde des Hauses niederließ, eine Art von Asylrecht genoß; ja, brennen nicht heute noch in den Gotteshäusern ewige Lampen.

Die Alten haben im Feuer eines der vier die Welt bildenden Elemente gesehen. Wir wissen dagegen heute, daß es ein mit Licht- und Wärmeentwickelung verbundener Prozeß, der Verbrennungsprozeß, ist, welcher in der chemischen Verbindung irgend eines Körpers mit einem anderen besteht.

Werfen wir in schmelzenden Schwefel Eisenfeilspäne, so wird die Masse plötzlich rotglühend, das Eisen verbindet sich mit dem Schwefel zu Schwefeleisen unter Feuererscheinung. Werfen wir Kalium auf Wasser, so entsteht eine Flamme, aus Gründen, die wir schon S. 424 besprachen. Wie bei diesen leicht zu vermehrenden Beispielen, so ist bei allen Verbrennungen und bei der größten Anzahl der Feuererscheinungen, wenn wir von der Elektrizität absehen, der chemische Prozeß die Ursache der Licht- und Wärmeentwickelung. Wir können z. B. sagen, das Eisen verbrannte im Schwefel, aber wir beschränken den Begriff des Verbrennens im gewöhnlichen Sprachgebrauche vorwiegend auf den Prozeß der Verbindung gewisser Körper mit Sauerstoff, sofern diese Verbindung mit intensiver Licht- und Wärmeentwickelung vor sich geht.



449. Eisen im Sauerstoff brennend.

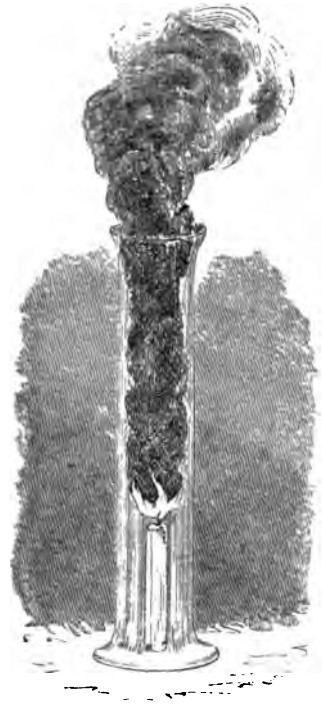
Die Flamme. Ist der brennende Körper ein gasförmiger wie Wasserstoffgas, Leuchtgas u. s. w., so vollzieht sich die Vereinigung mit Sauerstoff unter der Erscheinung einer Flamme, ist er aber ein fester Körper, so ist das Verbrennen nur ein Verglimmen ohne Flamme, höchstens von Funkensprühen begleitet. Eisen verbrennt in reinem Sauerstoffgas mit prachtvollem Lichte, wenn wir es glühend in eine mit Sauerstoffgas gefüllte Glocke hängen, aber es entsteht keine Flamme dabei, nur die einzelnen glühenden Teilchen werden als Funken umhergeschleudert. Dagegen geben Schwefel und Phosphor beim Brennen regelrechte Flammen, und sie sind doch auch feste Körper? Das ist richtig, der Unterschied ist aber der, sie verwandeln sich nach dem Anzünden infolge der durch ihre Verbrennung von ihnen selbst erzeugten Wärme in Gas, und die Flamme entsteht nicht durch Verbrennen des Schwefels oder Phosphors, sondern des in der Hitze gasförmig gewordenen Schwefels oder Phosphors.

So ist es nun auch mit allen anderen festen Körpern, die mit Flamme brennen. Sie verwandeln sich vor der Entflammung jedesmal erst in gasförmige Produkte, und es kommt bei ihrem Entzünden nur darauf an, durch Erhitzen diese Umwandlung einzuleiten. Ist die Zersetzung einmal im Zuge, so erhält sich die Gasentwickelung durch die bei der Verbrennung entstehende Hitze von selbst. Der Docht einer Kerze arbeitet daher ganz ähnlich der Retorte einer Gasanstalt, nur daß hier das Gas nicht erst in einen Gasometer geleitet, sondern gleich am Orte der Darstellung verbrannt wird. Man kann dies Gas sogar bei jeder brennenden Kerze sehen. Die Flamme einer solchen besteht nämlich aus drei Teilen, einem inneren dunklen, in welchem sich das entwickelte Gas ansammelt, der also den Gasometer repräsentiert, einer sich darüber breitenden hell

brennenden Schicht, dem Orte, wo das austretende Gas eine teilweise Verbrennung erleidet, indem gleichzeitig der aus ihm durch die Hitze ausgeschiedene Kohlenstoff ins Glühen gerät, welcher ihr Leuchten veranlaßt, und endlich aus dem schwach gefärbten Mantel, in dem dieser Kohlenstoff völlig zu Kohlensäure verbrennt. Zum Brennen einer Flamme ist also absolut Sauerstoff nötig. Fehlt es an diesem, so kann nicht aller Kohlenstoff verbrennen, sondern er scheidet sich teilweise als Ruß ab, und wird der Sauerstoff gar zu spärlich, so erlischt die Flamme, wie es im nebenstehenden Cylinder, in welchem sich eine Flamme bereits im Stadium des Rußens befindet, sehr bald eintreten würde.

450. Die Flamme.

Die Feuerzeuge. Wenn wir mit der Hand über eine rauhe Fläche streichen, so empfinden wir in den Fingern ein Wärmegefühl, gleiten wir an einer Stange oder gar an einem Strick schnell herunter, so können wir durch die sich hierbei entwickelnde Hitze Brandwunden davon tragen. Die Achsen von Wagen rauchen, wenn sie nicht geschmiert sind, und Eisenbahnwagen geraten bei Mangel an Schmiermaterial infolge der hierbei durch die vermehrte Reibung entwickelten Hitze in Brand. Halten wir ein Messer gegen einen sich drehenden Schleifstein, so sehen wir Funken sprühen u. s. w. Forschen wir nun nach der Ursache dieser Wärmeentwickelungen, so kann sie einzig und allein in der Reibung liegen, und auf diesem Prinzip der Wärmeentwickelung durch Reibung beruhen die ältesten, wie die jüngsten Feuerzeuge.



451. Rußen infolge von Mangel an Sauerstoff.

Die Form dieser Reibfeuerzeuge wird im großen ganzen die gewesen sein, welche von vielen neueren Reisenden sowohl bei den Insulanern der Südsee, als bei den Grönländern, als auch bei den Indianern Amerikas noch angetroffen worden ist. So unvollständig und mangelhaft sie auch ihren Zweck erfüllen, so waren die Ansichten hierüber seitens der durch unsere Bequemlichkeit und mannigfachen Hilfsmittel nicht verwöhnten Naturvölker doch so verschieden von unserer Auffassung, daß beispielsweise die Grönländer noch zu Anfang des Jahrhunderts vorzogen, auf die gewohnte Weise durch Reiben zweier Holzstücke aufeinander sich Feuer zu verschaffen, als die ihnen damals dargebotenen in der ganzen zivilisierten Welt gebräuchlichen Steinfeuerzeuge zu benutzen, die sie als unpraktisch auf die Seite warfen.

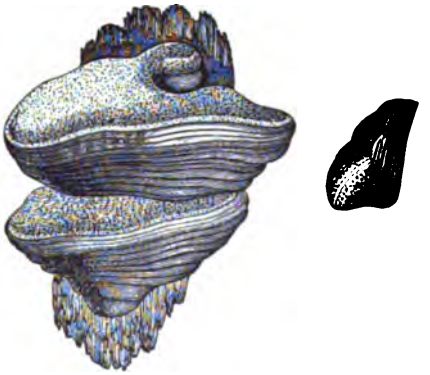
Feuer durch Reiben zweier Hölzer zu erzielen, gelingt aber nur, wenn man das Reiben beider Hölzer aufeinander möglichst rasch und möglichst lange ohne zu große Anstrengung fortsetzen kann. Diese Art von Feuerzeugen hat daher in fast allen Erdteilen etwa folgende Einrichtung erhalten. Ein Brett oder Holzklotz von 15—20 cm Länge aus weichem Holze hat auf seiner Oberfläche mehrere halbrunde Vertiefungen, in welchen ein 2—3 cm starker Stab aus hartem Holz gedreht werden kann. Die Löcher in dem ersteren Holze werden, wenn Feuer angemacht werden soll, mit einem leicht feuerfangenden Zunder, als welcher vermodertes Holz und ähnliches dient, angefüllt, und der harte Holz-

ſtab wird in dieſer Maſſe in eine ſchnell rotierende Bewegung verſetzt, entweder indem man ihn wie einen Quirl mit den Händen dreht oder indem man eine an einen Bogen befeſtigte Schnur um ihn wickelt und durch deren Hin- und Herziehen die Bewegung unterhält. Während das Zunderbrett mit den Füßen feſtgehalten und mit der einen Hand die Schnur gezogen wird, hält die andere den Friktionsſtab durch ein zweites Holzſtück feſt, damit er nicht aus ſeiner Vertiefung ſpringt. Durch eine ſolche Vorrichtung iſt es möglich, dem Stabe eine ungemein raſche Drehung und durch den Druck mit der linken Hand eine ſehr bedeutende Reibung zu geben. Die Hitze, die infolgedeſſen durch die Reibung erzeugt wird, genügt, um ſehr bald den Zunder ins Glimmen zu bringen, und die ſchwachen Funken beleben ſich raſch zur hellen Flamme, wenn trockenes Heu, Stroh und andere leicht Feuer fangende Gegenſtände um das Holzſtück gewickelt und durch Laufen oder Wehen mit den Armen ein lebhafter Luftzug hervorgerufen wird. Dieſes Feuerzeug war einer großen Vervollkommnung nicht fähig, es iſt daher das nächſthöhere Stadium der Feuerzeuge gleich durch eine völlig neue Erfindung charakteriſiert.

452. Stahl, Stein und Zunder.

453. Feueranzünden mit Stahl, Stein und Schwamm.

Stahl, Stein und Schwamm. Auch bei dieſen Materialien iſt es die mechaniſche Kraft der Arme, die durch Reibung Wärme erzeugt. An einem Stahl, dem Feuerſtahl, wird ein ſcharfkantiger Stein, der Feuerſtein, derart raſch herabgeſchlagen, daß durch die ſchneidigen Kanten und die Geſchwindigkeit der Bewegung kleine Splitterchen von der Oberfläche des Stahls abgeſprengt werden, die, weil ſie durch die Reibung im höchſten Grade ſich erhitzen, als glühende Funken herunterfallen und, wenn ſie den Zunder treffen, dieſen erglimmen machen. Der Zunder hat die Aufgabe, die kurze Dauer des Funkens zu verlängern, ſo daß man Schwefelfäden und andere leicht Feuer fangende Körper an ihm zu entzünden vermag. Er wurde aus den verſchiedenſten Stoffen hergeſtellt, und es erwieſen ſich ebenſogut verkohlte Leinwandfetzen als mit Salpeter getränkte Faſerſtoffe, aus denen die Lunten gemacht wurden, oder endlich der geklopfte Baumſchwamm als zweckentſprechende Mittel. Es ſei erlaubt, an dieſer Stelle noch einige Worte dem einſt ſo wichtigen Feuerſchwamm zu widmen, der heute ſchon faſt ganz der Vergeſſenheit anheimgefallen iſt.



454 u. 455. Feuerſchwamm.

Der Feuerſchwamm wurde aus einem zu den Hutpilzen (Pileati) gehörigen Pilze hergeſtellt, der ſich häufig an alten Buchen, Birn- und Äpfelbäumen findet. Dieſer Pilz wurde geſammelt und, nachdem aus ihm alle harten und holzigen Partien entfernt waren, in Waſſer gekocht. Dann wurde er mit hölzernen Schlegeln dünn gepocht, mit Pottaſchelöſung

nochmals gekocht und, nachdem diese wieder völlig ausgewaschen war, mit einer Salpeterlösung getränkt. Der vorher harte Schwamm erlangt so eine weiche lederartige Beschaffenheit und ist nach dem Trocknen zum Gebrauch fertig. Der Salpeter dient bei ihm natürlich infolge seines hohen Sauerstoffgehaltes zum Erhöhen seiner Entzündlichkeit.

Das Döbereinersche Platinfeuerzeug. Das erste brauchbare, auf chemischen Prinzipien beruhende Feuerzeug hat dann Döbereiner konstruiert. Wir haben seiner Zeit (s. S. 447) erfahren, daß alles Platin auf nassem Wege gereinigt wird, indem man es aus seiner Lösung als Platinsalmiak niederschlägt. Glüht man diesen nur sehr mäßig, so hinterbleibt sein Gehalt an Platin in einem, wie wir uns denken können, sehr fein verteilten Zustande. Man bezeichnet solches Platin als Platinschwamm. In seinen Poren vermag es manche Gase in großer Menge aufzusaugen und auf diesem Wege zu verdichten, und das kann so weit gehen, daß der Platinschwamm selbst dadurch ins Glühen gerät. Ist das Gas nun, welches verdichtet wird, ein brennbares, so entzündet es sich an dem glühenden Metall, und auf dieser Erscheinung beruht das Döbereinersche Feuerzeug.

Es besteht aus einem Glas-, Metall- oder Porzellangefäß, welches oben durch einen Deckel geschlossen und mit verdünnter Schwefelsäure bis ungefähr zu $^2/_3$ angefüllt wird. Von diesem Deckel aus ragt ein nach unten zu geöffneter Cylinder b in die Flüssigkeit, von dem aus oben, durch den Deckel hindurch, eine durch eine Feder e verschlossen gehaltene Öffnung, der Kapsel f gegenüber, ausgeht. Diese Kapsel ist mit Platinschwamm angefüllt. In dem Cylinder b aber ist ein Stück Zink an einem Messingdrahte aufgehängt, so daß es mit seinem unteren Ende ein wenig höher, als der untere Rand des Cylinders sich befindet. Wird nun der Deckel auf das mit verdünnter Schwefelsäure versehene Gefäß aufgesetzt, so taucht der innere Cylinder und mit ihm das Zink in die saure Flüssigkeit, und es beginnt augenblicklich eine Entwickelung von Wasserstoffgas, indem die Umsetzung entsprechend folgender Gleichung eintritt.

456. Das Döbereinersche Platinfeuerzeug.

Zink	+	Schwefelsäure	=	Schwefelsaures Zink	+	Wasserstoff
Zn	+	H_2SO_4	=	$ZnSO_4$	+	2 H.

Das sich entwickelnde Wasserstoffgas sammelt sich im Inneren des Cylinders über der Flüssigkeit an, und die Zersetzung dauert so lange fort, als das Zinkstück mit der Schwefelsäure in Berührung ist, und da das Wasserstoffgas keinen Ausweg findet — denn für gewöhnlich wird die einzige kleine Öffnung durch die Feder e verschlossen — so drückt es allmählich die Flüssigkeit aus dem Inneren des Cylinders heraus in das größere Gefäß und bewirkt dadurch, daß endlich das Zink außerhalb der Flüssigkeit zu hängen kommt, so daß sich kein weiteres Gas mehr entwickeln kann. Die Flüssigkeit im größeren Gefäße drückt aber ihrerseits wieder auf das Gas; öffnet man demselben durch die Feder e den Austritt aus dem Cylinder, so strömt es so lange aus, bis die Schwefelsäure innerhalb des Cylinders so hoch steht wie außerhalb. Bei diesem Ausströmen trifft das Gas direkt auf den in der Kapsel f befindlichen Platinschwamm. Es wird augenblicklich verdichtet, das Platin kommt dadurch ins Glühen und entzündet das nachströmende Gas, welches so lange, als die Feder niedergedrückt wird, weiter brennt. Von Zeit zu Zeit, wenn sich die Flüssigkeit mit Zink gesättigt hatte, mußte dieselbe entfernt und neue verdünnte Schwefelsäure in den Apparat gegeben werden.

Diese Feuerzeuge sind, obgleich sie viele Vorzüge vor dem ehemaligen Feuerschlagen aufweisen, durch die neueren ihnen bald folgenden Erfindungen jetzt so gut wie ganz in Vergessenheit geraten, und nicht besser ist es dem sogenannten „Chemischen Feuerzeug" ergangen, das zu Anfang des Jahrhunderts als bequemes Mittel zum Feueranmachen viel angestaunt und verwendet wurde.

Mit ihm erfuhren die Schwefelhölzer, d. h. jene Hölzchen, deren Kopf in Schwefel getaucht war, mit denen man das Feuer seit Jahrhunderten von einem Ort zum anderen

übertrug, ihre erste Vervollkommnung. Sie wurden an dem geschwefelten Ende mit einer Mischung von Zucker und chlorsaurem Kali, die man mittels Gummi verband, überzogen. Diese Mischung hat nämlich infolge ihres Gehalts an dem so sauerstoffreichen chlorsauren Kali (s. S. 474 unten) die Fähigkeit, beim Benetzen mit konzentrierter Schwefelsäure unter Feuererscheinung zu verpuffen und dabei eine so intensive Wärme zu entwickeln, daß sich der darunter liegende Schwefel entzündet. Da aber beim Verpuffen leicht Tröpfchen von Schwefelsäure umhergeschleudert wurden, wenn man dieselbe zu reichlich zur Benutzung anwendete, so bediente man sich kleiner Glasflaschen mit eingeriebenem Glasstöpsel, die man zur Hälfte mit fest eingestampftem und mit Schwefelsäure getränktem Asbest (siehe S. 372) anfüllte; die Zündhölzer wurden auf dieses Asbestkissen mit ihrem präparierten Ende gestoßen und entnahmen demselben eine genügende Menge Schwefelsäure, um die Entzündung einzuleiten. Der Erfinder dieser Zündhölzer ist nicht bekannt.

In Wien kostete das Hundert solcher Hölzchen noch 1812 einen Gulden. Eine besondere Abart dieses Feuerzeuges war ein um 1830 unter dem Namen Prometheans vorzüglich in England verbreitetes Zündpräparat, das aber seines hohen Preises wegen auf dem Kontinente kaum Verbreitung gefunden hat. Das Gemisch von Zucker und chlorsaurem Kali war bei ihm in ein dünnes Röllchen von Papier gefüllt, welches überdies ein kleines, auf beiden Seiten zugeschmolzenes Glasröhrchen voll Schwefelsäure enthielt. Indem man das Glasröhrchen zwischen zwei harten Körpern, in der Regel einer eigens zu diesem Zwecke mitverkauften Zange, zerdrückte, kam die Schwefelsäure mit der Zündmasse in Berührung und bewirkte die Entflammung derselben. Jene Tunkfeuerzeuge waren in gewisser Beziehung für ihre Zeit recht praktisch, nur mußte man stets darauf achten, daß die Gläschen immer wieder gut verschlossen wurden, nachdem man sie gebraucht hatte; denn sonst wurde die Schwefelsäure infolge der Anziehung von Wasser aus der Luft (siehe Seite 385) zu sehr verdünnt und vermochte dann keine Entzündung mehr hervorzubringen.

Das chlorsaure Kali hat sich von diesem chemischen Feuerzeuge an in allgemeiner Benutzung in der Zündwarenindustrie erhalten. Es bildete auch bei einer eigentümlichen Art Reibhölzer, nämlich den Congreveschen Reibzündern, welche 1823 aufkamen, den wesentlichsten Bestandteil der Zündmasse, die aus chlorsaurem Kali und dem doppelten Quantum Schwefelantimon bestand und mit einem geeigneten Bindemittel als Überzug über den Schwefel der Zündhölzer aufgetragen wurde. Wenn man die Masse zwischen zwei Flächen von Sandpapier, welche mit den Fingern zusammengepreßt wurden, hindurchzog, so entzündete sich infolge der Reibung das Gemisch. Allein es erforderte dies immer einen bedeutenden Druck, und nicht selten rieb sich dadurch das Zündpräparat von den Hölzern ab und verpuffte zwischen den rauhen Flächen, ohne das Hölzchen zu entzünden. Oder der Zündkörper flog brennend weg und übertrug das Feuer auf Stellen, an denen man es nicht haben wollte.

Hier also war das Feld der Verbesserungen. Man griff zu dem Phosphor, den man schon früher in diesem Industriezweig heranzuziehen versucht hatte, um eine andere Zündmasse zusammenzusetzen. Ehe aber die Phosphorzündhölzer ihre jetzige Ausbildung erlangten, haben sie so bedeutende Änderungen erfahren, daß die heutigen Zündhölzchen mit den ersten Versuchen, die leichte Entzündbarkeit des Phosphors zur Herstellung von Feuerzeugen zu benutzen, durch nichts weiter verwandt sind, als durch die Gegenwart des Phosphors.

Der Phosphor. Dieser interessante Körper wurde vor zwei Jahrhunderten entdeckt. Es ist eines jener zufälligen Ergebnisse, mit welchen an und für sich sinnlose Versuche der Alchemisten die Nachwelt beschenkt haben. Ein Hamburger Kaufmann nämlich, Namens Brandt, war, um seinen zerrütteten Vermögensverhältnissen aufzuhelfen, unter die Goldmacher gegangen. An die Transmutation, wie die für möglich gehaltene Verwandlung unedler Metalle in Gold und Silber durch gewisse, aber noch zu erforschende Verfahren und Tinkturen genannt wurde, glaubte damals jedermann, und es kam nur darauf an, der erste zu sein, der diesen Stein der Weisen fände. Brandt hatte wohl schon lange ohne Erfolg laboriert, ehe er zu der Überzeugung kam, daß auf dem bisher ein-

geschlagenen Wege für ihn nichts zu erreichen sei. Er verfiel endlich darauf, aus den Produkten des lebendigen Organismus selbst das geheimnisvolle Prinzip auszuscheiden, und hielt den Urin für das geeignetste Ausgangsmaterial seiner Unternehmungen. Heute lächeln wir über eine solche Auffassung. Damals aber, wo die Vorgänge des Lebens noch gar nicht der exakten Forschung unterworfen worden waren, wo phrasenhaftes dunkles Wortgeklingel für Kenntnis, Glauben und Meinen für Wissen gehalten und die Gesetze eher als die Beobachtungen gemacht wurden, damals hatte für einen Dilettanten, wie Brandt war, der Gedanke einen plausiblen Anschein, daß der Mensch die vollkommenste Maschine sei, in der alle Stoffe und alle Kräfte in der höchsten, feinsten Ausbildung angetroffen werden und wirken. Was von dieser Quintessenz der Schöpfung, von dieser Welt im kleinen, dem Mikrokosmus, ausgeschieden und abgesondert werde, das müsse das allerfeinste, das allerwirksamste sein, und im Harne könne daher allein der wahre Stein der Weisen gesucht werden.

Nun kurz und gut auf derartige Vorstellungen hin destillierte, digerierte, sublimierte Brandt den Urin auf alle mögliche Weise und quälte und ängstigte ihn mit allen damals bekannten chemischen Foltern; kein Wunder, daß sich die vorhandenen Verbindungen zersetzten und neue dafür entstanden. Allein der Stein der Weisen kam trotzdem nicht zu Tage. Dafür fand aber unser Alchemist eines Tages im Jahre 1669 in der Vorlage seiner Retorte einen eigentümlichen Körper von ganz merkwürdigen Eigenschaften. Der Geruch war schwach knoblauchartig, das Aussehen wie von hellgelbem halbdurchsichtigem Wachs, ebenso die Härte und Konsistenz, der Geschmack scharf und widerlich. Bei gelindem Anwärmen schmolz die Masse, aber selbst bei gewöhnlicher Temperatur schon stieß sie fortwährend Dämpfe aus, die im Dunkeln leuchteten. Strich Brandt mit der Hand über den neu gewonnenen Körper, so leuchteten seine Finger, und die eigentümliche Masse selbst strahlte ein blasses, grünweißliches Licht aus. In kochendes Wasser geworfen, machte sie die aufsteigenden Wasserdämpfe zu magisch strahlenden Wolken; kurz alles, was mit ihr in Berührung kam, empfing die Fähigkeit einer selbständigen Lichtentwickelung. Dieses sonderbare, noch an keinem anderen Körper beobachtete Verhalten war die Ursache, daß Brandt für den neu entdeckten Stoff ganz speziell den Namen Phosphor, d. i. Lichtträger, in Anspruch nahm, wie es denn auch, verbunden mit der Eigenschaft der leichten Entzündlichkeit, die Veranlassung wurde, den Lichtträger zu einem der ganzen Welt interessanten Phänomen zu machen. Der sonderbare Ursprung, sein Geruch und Geschmack, seine Entzündlichkeit, die des Schwefels und aller anderen bekannten Körper weit übersteigend und so groß, daß die Wärme der Hand schon genügte, ihn in Flammen zu setzen, endlich die geheimnisvolle Lichtausstrahlung, das waren alles Eigenschaften, die dem Phosphor einen Platz außerhalb der übrigen Körper anwiesen, und die von dem scheinbar infernalischen Stoffe noch ganz andere Wirkungen erwarten ließen.

Die ganze gebildete Welt befaßte sich denn auch bald mit der interessanten Neuigkeit. Hatte Brandt nicht den Stein der Weisen gefunden, so war ihm doch mit seiner Entdeckung eine Goldquelle aufgegangen, denn er hielt die Bereitung des Phosphors geheim, und das Begehren nach ihm war so groß, daß kleine Mengen mehr als mit Gold aufgewogen wurden. Man zeigte den Phosphor für Geld, und noch im Jahre 1730 kostete die Unze, das sind 31 g heutigen Gewichts, von ihm in London $10\frac{1}{2}$, in Amsterdam sogar 16 Dukaten. Es war daher kein Wunder, daß andere das Geheimnis seiner Darstellung sich aneignen wollten, um es im eigenen Nutzen auszubeuten, und es wird erzählt, daß Krafft und Kunckel sich vereinigt hätten, von Brandt das Rezept zu erkaufen.

Kunckel, der berühmteste deutsche Chemiker der damaligen Zeit, war in Holstein um 1630 geboren und wie die meisten der früheren Scheidekünstler in seiner Jugend Apotheker gewesen. Er hatte sich aber schon zeitig mit der „Chemie in den Metallen", wie er es nennt, beschäftigt, und unter anderem auch ein Werk über die Glasbereitung veröffentlicht. Wenn sich auch in seinen Schriften die ganze Unklarheit seiner Zeitgenossen wiederfindet, so hat er doch immer praktischere Richtungen in seinen Versuchen eingeschlagen, als die meisten der übrigen, welche die Chemie als einen Glückstopf betrachteten, aus dem die Hand zufällig den Stein der Weisen ziehen könne.

Kunckel wurde in den sechziger Jahren des 17. Jahrhunderts in die Dienste des Kurfürsten Johann Georg III. nach Dresden berufen, als Aufseher der Hof- und Leibapotheke, allerdings wohl nebenbei in der Absicht, die Versuche zur Auffindung des Steins der Weisen, dessen Kenntnis der verstorbene Kurfürst schon besessen haben sollte, wieder aufzunehmen und zu dem Behufe die hinterlassenen Aufzeichnungen zu studieren. In Annaberg wurde ihm ein Laboratorium eingerichtet. Da aber die Geldunterstützungen nicht mit wünschenswerter Regelmäßigkeit gewährt wurden, ging Kunckel 1675 nach Wittenberg und später nach Berlin in die Dienste des Großen Kurfürsten, um, wie er schreibt, „allda etwas zu seinem Lebensunterhalte zu gewinnen, da er doch die Kunst, Hunger zu leiden, nicht gelernt habe." Später wurde er von Karl XI. von Schweden als Bergrat nach Stockholm berufen, ist aber nicht lange dort geblieben und 1702 in Berlin gestorben.

Johann Daniel Krafft war Doktor der Medizin und an den Zellerfelder Gruben Arzt. Von unruhigem abenteuerlichem Sinn getrieben, hielt er an keinem Orte lange aus und verbrachte sein Leben auf vielfachen Reisen, zwischen denen er zeitweilige Anstellungen an den kurfürstlichen Höfen in Mainz und Dresden fand. In letzterer Stadt war er mit Kunckel bekannt geworden, kurz ehe die Brandtsche Entdeckung von sich reden machte.

Kunckel war gerade auf einer Reise und schlug Krafft vor, von Brandt das Geheimnis zu kaufen, um es dann gemeinschaftlich auszubeuten. Krafft acceptierte dies scheinbar, reiste nichtsdestoweniger aber selbst heimlich zu Brandt, erwarb von diesem das Geheimnis für 200 Thaler und hinterging Kunckel, indem er an den Höfen herumreiste und aus der Vorzeigung und dem Verkaufe des neuen Stoffs sich eine Einnahmequelle schaffte. Kunckel, der sich schon in Wittenberg befand, mußte natürlich endlich auch davon erfahren. Da ihm weder Brandt noch Krafft über die Entdeckung etwas Näheres mitteilten, ging er selbst an die Auffindung derselben, und, wie er schreibt, „durch scharfes Nachdenken und unermüdliches Arbeiten" war er nach etlichen Wochen so glücklich, den Phosphor selbständig zu entdecken und zustande zu bringen. Das war im Jahre 1676. Die ersten gedruckten Nachrichten über diesen Körper rühren aus dem gleichen Jahre her, und zwar hat sie Kirchmaier, Professor an der Universität Wittenberg in einem Schriftchen „Noctiluca constans et per vices fulgurans, diutissime quaesita, nunc reperta" veröffentlicht. Er spricht hier somit vom Phosphor als einer Art von langgesuchtem, nun gefundenem Leuchtstein, ohne den Namen Phosphor zu verwenden, der damals also noch nicht allgemein gebräuchlich gewesen sein kann.

Kunckel wußte nur, daß Brandt den Phosphor aus dem Harn abgeschieden habe. Das Geheimnis der zum zweitenmal entdeckten Bereitung wurde jetzt durch die Konkurrenz bald zu einem Allgemeingute, denn die Entdecker lehrten schließlich jedem, der 10 Thaler bezahlen wollte, das vorher so ängstlich gehütete Verfahren. Auf ebenso selbständige Weise, wie Brandt und Kunckel, soll auch Boyle in England die Phosphordarstellung erfunden und im Jahre 1681 darüber der „Royal Society" Bericht erstattet haben. Er beutete seine Entdeckung mit einem in England lebenden Deutschen Haukwitz ebenfalls durch Herstellung größerer Mengen aus, und Haukwitz soll auf diesem Wege ein großes Vermögen erworben haben.

Das Kunckelsche Verfahren der Phosphordarstellung wird seiner geringen Ausbeute halber schon längst nicht mehr befolgt. Wir lassen es aber des historischen Interesses halber hier folgen. Fauler Harn wird auf langsamem Feuer zur Sirupsdicke eingedampft. Nachdem man den Rückstand mit der dreifachen Menge weißen Sandes gemischt hatte, kam die Masse in eine feste, mit einer weiten Vorlage versehenen Retorte und wurde bei offenem Feuer 6 Stunden erhitzt, so daß alles nicht zu schwer Flüchtige ausgetrieben wurde. Darauf wurde 6 Stunden lang stärkeres Feuer gegeben. Zuerst erfüllten nun reichliche weiße Dämpfe die Vorlage, dann wurden sie wieder hell und es traten andere Dämpfe auf, die in bläulichem Lichte leuchteten, ähnlich dem brennenden Schwefel. Endlich erhielt man durch die heftigste Glühhitze eine konsistente, schwere leuchtende Substanz, den Phosphor, der sich in der Vorlage absetzte.

Der Zusammenhang des ganzen Verfahrens ist folgender. Wir brauchen zur Existenz unseres Körpers die Nahrungsmittel. Sie bestehen zum größten Teil aus organischen

Stoffen, müssen aber auch etwas anorganische Bestandteile enthalten, wie Kochsalz, phosphorsauren Kalk für die Knochen, Eisen namentlich zur Bildung der roten Blutkörperchen u. s. w. Die Natur baut nun den Körper nicht nur auf, sondern es findet auch ein fortdauernder Zerfall von Körperbestandteilen statt, der durch den Lebensprozeß verursacht wird, oder besser gesagt, für die Unterhaltung des Lebens nötig ist. Während das Blut einesteils die nötigen Nährstoffe allen Teilen des Körpers zuführt, nimmt es anderseits die verbrauchten Stoffe oder die durch den Zerfall derselben entstandenen, nun nicht mehr brauchbaren Stoffe mit sich fort. Die völlige Ausscheidung dieser verbrauchten Teile aus dem Körper findet schließlich durch die Nieren statt, die sie in gelöster Form im Harn aussondern. So findet sich außer anderen, z. B. dem erwähnten Kochsalz und Eisen, im Harn stets Phosphorsäure, größtenteils in Form von phosphorsaurem Kalk und phosphorsaurem Natron.

Wird nun Harn als solcher in einer Retorte eingedampft und erhitzt, so werden seine organischen Bestandteile verkohlen, und da deren einmal durch die zersetzende Wirkung der Hitze abgeschiedener Kohlenstoff aus Mangel an Sauerstoff in der Retorte nicht verbrennen kann, so sind schließlich in ihr, abgesehen von all den zahlreichen Nebenbestandteilen, die hier gar nicht in Betracht kommen, doch auch Salze der Phosphorsäure und außerdem Kohle vorhanden. Steigert man jetzt die Hitze möglichst, so wird in der hohen Temperatur die Kohle sich des Sauerstoffs der Phosphorsäure zu bemächtigen suchen, um zu verbrennen, und während der phosphorsaure Kalk absolut nicht flüchtig ist absolut nicht destillierbar ist, wird jetzt aus ihm durch den Einfluß der Kohle der Phosphor, welcher verhältnismäßig leicht destilliert, frei gemacht und sich bald als solcher in der Vorlage ansammeln.

Das Vorkommen des Phosphors im Harn veranlaßte, auch im Tierkörper selbst nach ihm zu suchen; so fand ihn denn Hensing 1715 im Gehirn u. s. w. Von praktischer Wichtigkeit wurde die Entdeckung Scheeles vom Jahre 1771, daß die Knochen größtenteils aus phosphorsaurem Kalk bestehen. Daß phosphorsaurer Kalk sich auch als Mineral massenhaft findet, konstatierten Klapproth und Proust 1788. Die Ausnutzung dieser folgenschweren Entdeckung für die Landwirtschaft werden wir bei den künstlichen Düngemitteln kennen lernen, für die Gewinnung des Phosphors als solchen kommt sie bis heute nicht viel in Betracht.

Die Knochen setzen sich im Mittel zusammen aus etwa

58 % Phosphorsaurem Kalk	8 % Kohlensaurem Kalk
30 % Leim, Fett und Feuchtigkeit	4 % Magnesiumphosphat, Kochsalz, Fluorcalcium.

Um den phosphorsauren Kalk aus ihnen zu gewinnen, verbrannten deshalb die Fabrikanten von Phosphor bis vor etwa 30 Jahren die Knochen, brannten sie weiß, wie man sagte, indem der phosphorsaure Kalk als weiße Asche zurückblieb, während das Fett und der Leim verbrannten.

Fabrikation des Phosphors. Diese Fabrikation beruht ähnlich, wie bei Kunckels Art zu arbeiten, darauf, daß man die Phosphorsäure durch Kohle zu Phosphor zu reduzieren sucht. Am einfachsten ließe sich der Vorgang chemisch so wiedergeben.

$$P_2O_5 + 5C = P_2 + 5CO$$
Phosphorsäure + Kohle = Phosphor + Kohlenoxyd.

Nun hat man aber bis vor wenigen Jahren angenommen, daß, wenn man Phosphorsäure mit Kohle erhitzt, die Phosphorsäure sich bei einer niedrigeren Temperatur verflüchtigt, als einer solchen, bei welcher ihr die Kohle den Sauerstoff zu entziehen vermag, so daß man danach Phosphorsäure auf diesem Wege gar nicht in Phosphor überführen könne. Auf diese Annahme hin finden wir bis zum Jahre 1890 als Methode der Phosphorfabrikation stets folgende angegeben und auch in fast allen Fabriken in Ausübung. Der aus den Knochen durch Brennen derselben oder sonstwie (siehe im Abschnitt „Künstliche Düngemittel") gewonnene phosphorsaure Kalk, welcher chemisch dreibasisch phosphorsaurer Kalk ist, wird mit 2 Molekülen Schwefelsäure behandelt. Die stärkere Säure entzieht ihm zwei Drittel seines Kalkes, indem sie sich mit diesem zu schwefelsaurem Kalk,

der im gewöhnlichen Leben Gips heißt, vereinigt. So kommt man zum einbasisch phosphorsauren Kalk, aus dem dann durch Erhitzen mit Kohle Phosphor abdestilliert, während er dabei wieder in dreibasisch phosphorsauren Kalk übergeht, welcher in der Retorte bleibende Phosphor (in Form von phosphorsaurem Kalk) für diese Fabrikation geradezu Verlust ist. Man kann also nicht sagen, daß diese etwa 100 Jahre alte Art der Phosphorgewinnung auf besondere Vollkommenheit Anspruch machen kann. Wollen wir die Vorgänge durch Gleichungen ausdrücken, so gestaltet sich das Ganze folgendermaßen.

$$\underset{\text{Dreibasisch phosphorsaurer Kalk}}{Ca_3(PO_4)_2} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{2\,H_2SO_4} = \underset{\text{Einbasisch phosphorsaurer Kalk}}{Ca(PO_4H_2)_2} + \underset{\text{Gips}}{2\,CaSO_4}$$

$$\underset{\substack{\text{Einbasisch phosphor-}\\ \text{saurer Kalk}}}{3\,Ca(PO_4H_2)_2} + \underset{\text{Kohle}}{10\,C} = \underset{\text{Phosphor}}{4\,P} + \underset{\text{Kohlenoxyd}}{10\,CO} + \underset{\substack{\text{Dreibasisch phosphor-}\\ \text{saurer Kalk}}}{Ca_3(PO_4)_2} + \underset{\text{Wasser.}}{6\,H_2O}$$

Im großen wird so gearbeitet, daß man die zerkleinerte Knochenasche in mit Blei ausgelegten Bottichen mit Wasser übergießt, und sodann die der obigen Gleichung entsprechende Menge Schwefelsäure zufließen läßt. Dabei bildet sich der im Wasser schwerlösliche Gips, während der im Wasser leicht lösliche einbasisch phosphorsaure Kalk in Lösung geht. Diese Flüssigkeit, die also den löslichen phosphorsauren Kalk enthält, wird vom Gips abgezogen und, nachdem sie stark eingedampft ist, mit Holzkohlenpulver vermischt. Das Gemisch wird sodann völlig ausgetrocknet und aus Retorten destilliert. So einfach diese Operationen der Beschreibung nach zu sein scheinen, so schwierig gestaltet sich ihre Ausführung in der Wirklichkeit.

Daß man auch Phosphor aus der Phosphorsäure durch Destillation mit Kohle gewinnen kann, wobei dann nicht ein Drittel des in Arbeit genommenen Materials, wie beim alten Verfahren in der Retorte zurückbleibt, sondern wenigstens theoretisch der Gesamtphosphor gewonnen werden kann, beweisen die Mitteilungen Readmans, die uns ein anschauliches Bild dieser neuen Fabrikation geben. Auch hier beginnt sie damit, daß der gemahlene phosphorsaure Kalk in großen mit Rührern versehenen Bottichen mittels Schwefelsäure unter Erhitzung durch direkt einströmenden Dampf zersetzt wird. Hier verwendet man aber so viel Säure, daß sie allen Kalk bindet, so daß schließlich nur schwefelsaurer Kalk und Phosphorsäure in der Lösung vorhanden sind. Die erhaltene Flüssigkeit wird nach mehrstündigem Rühren filtriert. Auf dem Filter bleibt der Gips, während die im Wasser gelöste Phosphorsäure abfließt. Sie wird nunmehr in Bleibottiche geleitet, in denen Bleischlangen liegen, durch welche überhitzter Dampf strömt, der eine Konzentration der Flüssigkeit bewirkt. Ist das Eindampfen so weit gediehen, daß die Flüssigkeit etwa 62% Phosphorsäure enthält, so wird der nunmehr sirupdicken Flüssigkeit Holzkohle bis zu 25% zugemischt. Dieses Gemisch wird hierauf in eisernen Kesseln so lange erhitzt, als noch flüchtige Produkte aus ihm entweichen, und sodann destilliert.

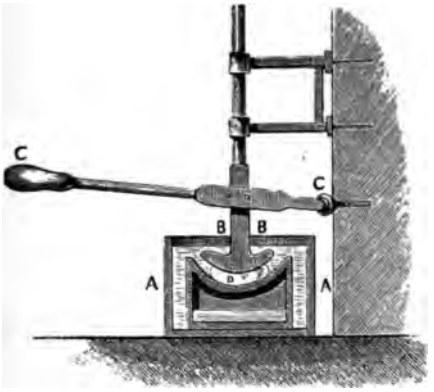
Die Destillation wird in kleinen flaschenförmigen Retorten ausgeführt, deren Wandungen etwa 25 mm dick sind, während ihre Länge 90 cm und ihre lichte Weite 28 cm beträgt. Sie liegen in einem Galeerenofen (siehe S. 361), der zwei übereinander angeordnete Reihen von ihnen an jeder Seite des Ofens enthält, im ganzen also 4 Reihen und zwar von je 7 Stück. Die Retorten von je zwei in gleicher Höhe liegenden Reihen sind einander im Inneren des Ofens mit ihren Böden zugekehrt, und ihre engen Hälse ragen an jeder Seite des Ofens 25—30 mm aus dem Mauerwerk hervor. Ihre Mündungen sind vermittelst 5 cm weiter schmiedeeiserner oder kupferner Röhren mit den Kühlern verbunden. Die nötigen Dichtungen werden durch Verstreichen mit Thon erzielt.

Die Vorlagen, in welche die Kühler münden, enthalten warmes Wasser, unter dem der Phosphor, da er schon bei 44° schmilzt, sich in geschmolzenem Zustande ansammelt, so daß er leicht ausgeschöpft werden kann. Jede Retorte wird mit 10—15 kg Mischung beschickt, und deren Destillation dauert etwa 15 Stunden.

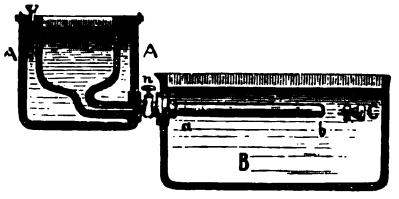
Der durch Destillation direkt erhaltene Phosphor ist noch ziemlich unrein. Zu seiner Reinigung schmelzen ihn die Fabriken nochmals unter Wasser und pressen ihn unter diesem durch Gemsleder. Die in Abb. 457 dargestellte Presse dient diesem Zwecke. Es wird der in heißem Wasser (60°) zusammengeschmolzene rohe Phosphor nach seinem Erkalten in

ein Stück Gemsleder eingebunden, das man wie einen Sack zusammenknüpft und auf einen siebartig durchlöcherten Seiher legt. Das Ganze steht in einem größeren Gefäße A A, welches mit Wasser von ungefähr 50° so weit gefüllt wird, daß der Phosphor von ihm bedeckt ist. Das halbkugelförmige, in einer Führung gehende Pistill der Presse B B wird mittels des Hebels C C auf den Ledersack gedrückt und dadurch bei verstärktem Druck der in dem heißen Wasser wieder schmelzende Phosphor durch die Poren des Leders gequetscht, wobei er seine Unreinigkeiten in demselben zurückläßt.

Diese Reinigung genügt aber manchen Ansprüchen nicht, und man verfährt deshalb auch so, daß man in dem über dem Rohphosphor stehenden Wasser 4 % seines Gewichtes an rotem chromsauren Kali löst und dann die gleiche Menge Schwefelsäure zufügt. Die hierdurch freigemachte Chromsäure wirkt stark oxydierend (s. S. 357) auf die ihm beigemengten Verunreinigungen, und der so behandelte Phosphor ist schon sehr rein und fast farblos. Als drittes Verfahren kommt die erneute Destillation des rohen Phosphors aus eisernen Retorten in Betracht, die mit großer Leichtigkeit ausführbar ist.



457. Presse zum Reinigen des Phosphors.



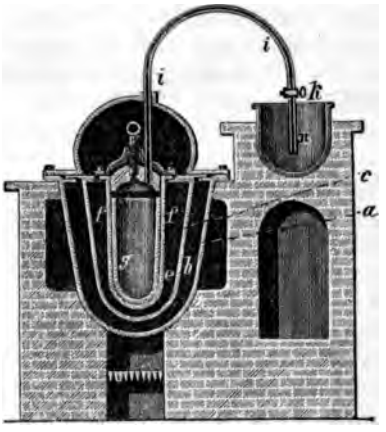
458. Apparat zum Reinigen des Phosphors.

Den gereinigten Phosphor bringt man in Form von runden Stangen in den Handel. Um diese zu erlangen, bedient man sich der folgenden in Abb. 458 veranschaulichten Vorrichtung. In einem größeren Gefäße A A befindet sich ein nach unten in eine Röhre verlaufendes Schmelzgefäß, bestimmt, den Phosphor aufzunehmen und durch heißes Wasser, mit dem das Gefäß A A gefüllt wird, flüssig zu machen, damit er durch den Hahn n in die Glasröhre a b übertreten kann. Diese Glasröhre befindet sich in einem mit kaltem Wasser gefüllten Bassin A. Öffnet man den Hahn, so tritt aus dem Schmelzgefäß flüssiger Phosphor in die Glasröhre, in der er bald erstarrt. Da die Röhre vorn sich konisch erweitert, kann er leicht aus ihr herangezogen werden, wenn man ihn an seinem Anfange faßt. Dazu dient ein Zapfen C, der mit einem Häkchen versehen, in die noch weiche Phosphormasse eingedrückt wird. Durch das kalte Wasser wird seine Abkühlung und Erstarrung so rasch bewirkt, daß man ihn ununterbrochen langsam aus der Glasröhre herausziehen kann. Auch bringt man ihn neuerdings so in die Form von „Keilen“ oder Stangen, daß man ihn in cylindrischen Weißblechgefäßen schmilzt, in diese eine sternförmige Blechform einschiebt, und nun durch kaltes Wasser abkühlt.

Auch alle weiteren Manipulationen, wie Zerschneiden der langen Stangen in entsprechende Stücke u. s. w., müssen in der Technik sowohl wie im Laboratorium seiner leichten Entzündlichkeit halber unter Wasser vorgenommen werden, ebenso kann er nur in mit Wasser gefüllten Büchsen verschickt werden.

Noch manche sonstige Methode zur Gewinnung des Phosphors ist vorgeschlagen, aber keine weitere von ihnen scheint im großen verwendbar gewesen zu sein, und ob die in den letzten Jahren aufgetauchten elektrochemischen Verfahren ihren Zweck erfüllen werden, muß erst die Zeit entscheiden. Das erste die Elektrizität zu Hilfe nehmende Patent rührt von dem genannten Readman her, stammt aus dem Jahre 1888, und zwar sollen nach ihm Phosphorsäure oder Phosphate mit Kohle gemischt in einem elektrischen Ofen zwischen den Kohlenspitzen erhitzt werden. Im Jahre 1891 sind dann Versuche im großen von ihm in Gang gesetzt worden, bei denen die feingepulverten Phosphate mit Sand und Kohle innig gemischt in den Ofen eingetragen wurden. Kurz nach Schließen

ıes beginnt infolge der hohen Temperatur bereits die Entwickelung der Phos-
ſe, die in einem Kühlgefäß kondenſiert werden. In dem Maße, wie der Phosphor
:t, wird der flüſſige Inhalt des Ofens ablaufen gelaſſen und oben neues Ma-
:geben, ſo daß der Betrieb ſich zu einem kontinuierlichen geſtaltet. Es ſoll auf
'e gelungen ſein, 86 % des in den Ofen gebrachten Phosphors zu gewinnen.
ıer das Verfahren bewährt hat und noch im Betrieb iſt, iſt nicht bekannt.
Phosphorfabrikation bietet, ſo einfach ſie auch zu ſein ſcheint, derartige Schwierig-
ı von den einſt auch in Öſterreich und Deutſchland vorhandenen Fabriken nicht
exiſtiert. Viele Jahre haben die franzöſiſche Fabrik von Coignet et fils in
die engliſche Fabrik von Albright and Wilſon zu Oldbury bei Birmingham den
r Welt gedeckt, erſtere erzeugte jährlich etwa 500000 kg, letztere 700000 kg,
ıe an 15000000 kg Knochen verbraucht wurden. Noch 1882 hatte 1 kg
4,80 Mark gekoſtet, dann fiel der Preis durch neu entſtandene franzöſiſche und
abriken auf 2,80 Mark. Anfang 1897 betrug er wieder 3,80 Mark. Die vier
Fabriken, die es 1891 zu Perm, Wologda, Nowgorod und Kaluga gab, ſtellten
Jahre mit Hilfe von 390 Arbeitern 183000 kg von ihm dar. Den deutſchen
ıarf kann man auf etwa 100000 kg veranſchlagen, welcher alſo gänzlich vom
importiert wird. Ob es lohnend wäre,
ge im Inlande zu produzieren, iſt eine
ıtilierte Frage, die bisher keine Löſung
hat.



459. Darſtellung des roten Phosphors.

enſchaften des Phosphors. Der hin-
iner äußeren Erſcheinung ſchon beſchrie-
ɜphor ſchmilzt alſo bei 44,2°, ſiedet bei
ı verwandelt ſich in ein farbloſes Gas,
etzt, daß die Luft gänzlich abgeſchloſſen
dampft jedoch auch ſchon bei gewöhnlicher
ır in geringem Grade. Er löſt ſich etwas
iſt und auch in Äther. Chloroform und
ohlenſtoff nehmen ihn mit größter Leich-
:, und er vermag beim langſamen Aus-
us dieſen Löſungen Kryſtallform anzu-
Mit vielen anderen Elementen verbindet
ht, ſo mit Sauerſtoff, Chlor, Schwefel.
:bindungen mit den Metallen Kupfer und
ıen ein beſonderes Intereſſe, da ſie techniſche Verwendung gefunden haben,
ıei der Phosphorbronze berichtet wurde (ſ. Bd. VI).

n man den Phosphor anhaltend auf einer Temperatur von 260° erhält, ſo
er ſeine Eigenſchaften und geht in den ſogenannten roten oder amorphen
ɔr über, welche intereſſante Modifikation Schrötter im Jahre 1848 entdeckte.
Darſtellung dieſes roten Phosphors im großen erfolgt in dem von Albright
ıgham empfohlenen Apparat. Der gewöhnliche gelbe Phosphor kommt in ein
gefäß g, welches in einem eiſernen verſchraubbaren Behälter f ſteht. Durch das
t er mit dem Behälter n verbunden, in welchem dies Rohr unter Waſſer endigt.
ärmen erfolgt ſehr langſam und vorſichtig, indem ſich im Raume b, zwiſchen den
und c, Eiſenfeilſpäne befinden, während der Zwiſchenraum f, zwiſchen den Keſſeln
mit der leicht ſchmelzbaren Legierung aus einem Teil Zinn und einem Teil
ıefüllt iſt, welche als Metallbad dient, deſſen Temperatur durch ein Thermometer
wird. Iſt der Apparat angeheizt, ſo werden bei n durch die Ausdehnung der
:eſſel g Luftblaſen austreten. Hat dieſes ſchließlich nachgelaſſen, ſo ſchließt man
k, und jetzt vollzieht ſich mit der ſteigenden Temperatur unter Ausſchluß der
Behälter g der allmähliche Übergang des gelben in den roten Phosphor.
Farbe dieſer intereſſanten Abänderung des Phosphors iſt oft ſo ſchön und in-
ß ſie dem Zinnober nahe kommt, meiſt aber iſt ſie rötlichbraun. Der amorphe

Phosphor ist geruchlos, leuchtet nicht im Dunkeln und verändert sich nicht an der Luft, auch schmilzt er bei weitem schwieriger als der gewöhnliche, und was ihn am meisten von diesem unterscheidet, ist seine schwere Entzündlichkeit. Diese letztere Eigenschaft, sowie der Umstand, daß er nicht giftig wirkt, ließ ihn sogleich eine begeisterte Aufnahme von seiten der Zündhölzchenfabrikanten finden, weil der Vorwurf zu großer Gefährlichkeit, der den Phosphorzündhölzchen gemacht wurde, hier nicht zutraf. Allein mit der Gefährlichkeit verloren die Zündhölzchen auch gerade das Empfehlenswerteste, ihre Bequemlichkeit, und die Fabrikanten fanden bald, daß damit der Gewinn zu teuer bezahlt sei, bis der rote Phosphor dann in Form der schwedischen Streichhölzer sich nach vielen Jahren erst als unüberwindlicher Sieger in der Zündholzfabrikation erwies.

Die Anwendungen des Phosphors sind mannigfacher Art. Die Pharmazie bedient sich seiner zu einigen Präparaten; mehr schon verbrauchen ihn die Kammerjäger zu der sogenannten Phosphorlatwerge, einem Gemisch von Wasser und Mehl und etwas wohlriechender Substanz, dem man eine geringe Menge Phosphor beimischt. Seine höchst giftigen Eigenschaften machen dergleichen Pasten zu einem wirksamen Vertilgungsmittel der Ratten u. s. w. Auch fertigt man aus solchem Phosphorteig von etwas mehr Konsistenz Pillen (Phosphorpillen) an; diese sind bequemer zu handhaben als der Teig und werden zur Vertilgung der Feldmäuse benutzt. Große Mengen von rotem amorphem Phosphor werden jetzt zur Bereitung von Jodphosphor und Bromphosphor verwendet, welche beiden Präparate in der Teerfarbenindustrie gebraucht werden, um jodierte und bromierte Kohlenwasserstoffe darzustellen. Jedenfalls ist aber die Menge von Phosphor, welche die Zündhölzchenfabrikation beansprucht, die bei weitem größte, und damit kommen wir auf unseren eigentlichen Gegenstand, die Feuerzeuge, wieder zurück.

Anwendung des Phosphors zu Feuerzeugen. Die ersten Versuche auf diesem Gebiete ergingen sich in zum Teil sehr verwickelten Vorrichtungen, die dadurch nötig wurden, daß man noch nicht gelernt hatte, die freiwillige Entzündung des Phosphors in atmosphärischer Luft zu umgehen. Ähnlich wie bei den Prometheans zur Aufbewahrung der Schwefelsäure bediente man sich daher, um die Luft abzuhalten, kleiner Glasröhren. So bestanden die sogenannten Turiner Lichtchen aus kleinen Glasröhren, die an einem Ende zu einer Kugel erweitert und hier mit etwas Phosphor angefüllt waren. Das andere Ende der Röhre wurde durch einen Wachsdocht verschlossen, und der dünne Kopf dieses Dochtes, um seine Entzündlichkeit noch zu erhöhen, mit Schwefel- und Kampferpulver bestreut, war in das Phosphorkügelchen eingeschmolzen. Sollte Feuer gemacht werden, so wurde das Glasröhrchen an der Stelle, wo sich die Kugel ansetzte, zerbrochen. Schon durch die hierbei entstehende geringe Reibung und den Zutritt der atmosphärischen Luft entzündet sich zunächst der Phosphor, der dann seinerseits den Docht in Brand setzt.

Aber diese Einrichtung war bei weitem zu kostspielig, um einem Bedürfnis des großen Publikums abzuhelfen. Ebensowenig fand das Feuerzeug allgemein Eingang, welches den Phosphor mit etwas Schwefel zusammengeschmolzen in einem Fläschchen enthielt, in welchem diese Mischung den Boden als eine schwache Schicht bedeckte. Ihre Wirkung gründete sich darauf, daß ein Schwefelholz, wenn es mit dem geschwefelten Ende auf dem Phosphorgemisch gerieben wurde, etwas von der Masse abkratzte und sich nun durch Reiben auf einer rauhen Fläche entzünden ließ. Nur in der Form eines Überzugs — das wurde sehr bald eingesehen — vermochte der Phosphor seine Wirkung in geeigneter Weise zu äußern; allein es verging trotzdem eine geraume Zeit, bis endlich der richtige Weg gefunden wurde, auf welchem man schließlich zur Herstellung der heutigen Phosphorstreichzündhölzer gelangte.

Streichhölzchen. Es ist ungewiß, von wem die Erfindung eigentlich ausgegangen ist. Man sieht, es war nach den Congreveschen Streichhölzern weiter nichts zu thun, als das Schwefelantimon durch Phosphor zu ersetzen. In Paris muß schon 1805 der Phosphor zur Herstellung von Feuerzeugen Verwendung gefunden haben, denn im Journal de l'Empire vom 20. Vendemiaire des Jahres XIV (12. Oktober 1805) wird von Phosphorfeuerzeugen gesprochen. Derepas soll 1809 ihn mittels Magnesia zerteilt haben, um seine leichte Entzündlichkeit zu vermindern, und Derosne soll es 1816 gelungen sein,

wirkliche Phosphorstreichhölzer zu erzeugen. Dies letztere ist sehr zweifelhaft, und die Sache verhält sich nach den neuesten Annahmen so, daß ein junger österreichischer Techniker, Namens Stephan Irinyi, der in einer Vorlesung den Professor mit Phosphor experimentieren sah, der Erfinder der Streichhölzer ist. Er soll am Nachmittage des betreffenden Tages bereits Streichhölzer im heutigen Sinne hergestellt haben, es war zu Anfang der dreißiger Jahre, und er soll seine Erfindung einigen Zündrequisitenfabrikanten mitgeteilt haben, die sie dann verwerteten. So wurden 1833 schon in Wien durch den Fabrikanten Preshel die verschiedenartigsten Zündrequisiten, Zündschwamm, Zigarrenzünder u. s. w. angefertigt, in deren Zündmasse der Phosphor die hauptsächlichste Rolle spielte, und um dieselbe Zeit fabrizierte auch Moldenhauer in Darmstadt seine ersten Phosphorzünder.

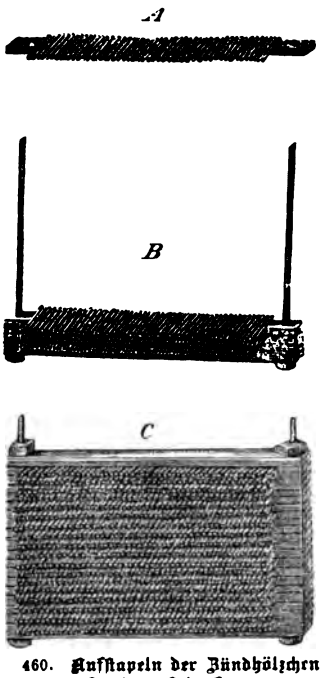
In den ursprünglichen Zündmassen war das chlorsaure Kali aus den Congreveschen Reibzündern der Menge nach noch ein ganz vorwiegender Bestandteil. Da dasselbe aber den Übelstand hat, beim Erhitzen zu schmelzen und erst dann Sauerstoff zu entwickeln, so besaßen die Phosphorzündhölzer von damals die unangenehme Eigenschaft, mit einer Art von Explosion zu verbrennen; die schmelzende Masse spritzte glühend umher, und der Gebrauch sowie die Fabrikation wurde wegen der großen Feuergefährlichkeit in vielen deutschen Ländern verboten. Es gelang aber bald, das schädliche chlorsaure Kali zu beseitigen. Trevany wandte statt seiner zuerst eine Mischung von Mennige und Braunstein an, und wenige Jahre darauf (1837) wurde durch Preshel das braune Bleisuperoxyd und durch Böttger ein Gemenge von Mennige und Salpeter oder von Bleisuperoxyd und salpetersaurem Bleioxyd — es sind dies alles sehr sauerstoffreiche Verbindungen — eingeführt und damit der Zündhölzchenfabrikation ein großer Aufschwung gegeben.

Weiterhin wurden die Reibzündhölzer dadurch verbessert, daß man das Holz der leichteren Entzündung wegen anstatt mit Schwefel mit Wachs oder Paraffin an der Spitze tränkte, die Zündmasse selbst mit einer dünnen Lackschicht überzog, um die Phosphorausdünstung zu beseitigen und den Hölzchen ein gefälligeres Aussehen zu geben u. s. w.

Es war nur noch eine Schwierigkeit zu überwinden, und diese lag in den giftigen Eigenschaften des Phosphors selbst. In den Zündhölzchenfabriken stellten sich bald die traurigsten Krankheitserscheinungen unter den Arbeitern ein, hauptsächlich Krankheiten des Zahnfleisches und der Kinnlade, und die Sterblichkeit unter den Fabrikarbeitern war hier eine viel größere als bei anderen Beschäftigungen. Man suchte hin und her, dem Phosphor die schädlichen Eigenschaften zu nehmen, und als Schrötter den amorphen Phosphor entdeckte, nahm man deswegen dieses Präparat von allen Seiten sogleich mit dem größten Eifer in der Zündhölzchenfabrikation auf. Dieser hat sich, wie gesagt, in jener Zeit bald wieder abgekühlt, und die Zündhölzchen, zu deren Zündmasse roter oder amorpher Phosphor genommen wurde, haben damals nur eine sehr beschränkte Aufnahme gefunden.

Der Erfinder der mit Hilfe von rotem Phosphor hergestellten Zündhölzer, welche wir heute „schwedische Zündhölzer" nennen, ist der uns von der Schießbaumwolle her bekannte Frankfurter Chemiker Böttcher (s. S. 460). Er nannte seine Hölzchen damals im Jahre 1848 Antiphosphorhölzer. Zu diesem Namen sah er sich dadurch veranlaßt, daß er den roten Phosphor mit Zusatz eines rauhen die Reibung vermehrenden Körpers, wie Braunstein, Glaspulver oder ähnlichem, nicht auf die Kuppen der Hölzchen brachte, sondern daß er ihn zur Präparation einer besonderen Reibfläche verwendete und zu diesem Behufe auf Pappe aufklebte. Die Zündmasse seiner Hölzchen bestand aus einer mit Gummi angemachten Mischung von chlorsaurem Kali und Schwefelantimon, war also phosphorfrei und hatte die Eigenschaft, sich auf jener phosphorhaltigen Reibfläche sehr leicht, auf anderen Flächen aber nicht oder jedenfalls sehr schwer zu entzünden. Auch hier haben wir wieder ein Beispiel, wie schwierig es oft ist, eine an sich gute Erfindung praktisch zu gestalten und sie zur Ausführung im großen zu bringen. Diese Böttchersche Erfindung aus dem Jahre 1848 hat erst in Schweden in den siebziger Jahren ihre Auferstehung gefeiert, aber dann auch die ehemalige Zündholzindustrie vollkommen aus dem Sattel gehoben, obwohl, wie wir gleich sehen werden, die schwedischen Zündhölzer scheinbar genau das Gleiche wie die Böttchersche Erfindung sind.

So zahlreiche Vorschriften auch im Laufe der Jahre zur Herstellung ganz phosphorfreier Zündhölzer gemacht wurden, so haben sie niemals ernstliche Erfolge zu erringen vermocht, die seit allgemeiner Einführung der schwedischen Zündhölzer überhaupt ausgeschlossen erscheinen, wie denn auch ausführliche Versuche, die 1891 nochmals in Frankreich und der Schweiz angestellt wurden, das Schicksal aller älteren Bestrebungen in dieser Richtung teilten und resultatlos verliefen. Die beste phosphorfreie Mischung soll die Wiederholdsche gewesen sein. Sie bestand aus 7,8 Teilen chlorsaurem Kali, 2,6 Teilen unterschwefligsaurem Bleioxyd und 1 Teil arabischem Gummi.



460. Aufstapeln der Zündhölzchen für das Betupfen.

Die Fabrikation der phosphorhaltigen Zündhölzchen bestand schließlich in folgendem. Man fertigte aus völlig astfreiem Tannen- oder Fichtenholz mit einem passend konstruierten Eisen die nötigen kleinen Hölzchen lange Zeit mit der Hand, erst später mit Maschinen. Waren diese gut ausgetrocknet, so legte eine Arbeiterin sie auf ein Brettchen A. Etwa 25 solcher Brettchen wurden übereinander gelegt, wie es B zeigt, und vermittelst zweier sie durchsetzenden Schrauben schließlich das Ganze fest zusammengezogen, nachdem durch sanftes Aufstoßen die Spitzen aller Hölzchen in eine Ebene gebracht waren. Hierauf wurden sie von einem Arbeiter in geschmolzenen Schwefel, der in einem ganz flachen Gefäß eingeschmolzen ist, eingetaucht, so daß an jedem etwas von diesem haften blieb. Ein zweiter Arbeiter tauchte sie sodann in die eigentliche Zündmasse, die von ziemlicher Konsistenz auf einem völlig ebenen Stein einige Millimeter dick aufgestrichen war. Hierauf kamen die so fertig gestellten Hölzchen in die Trockenstube und wurden hernach verpackt.

461. Eintauchen der Hölzchen in die Zündmasse.

An der Herstellung einer möglichst guten Zündmasse ist natürlich sehr viel gearbeitet worden. Ursprünglich brachte man in eine ziemlich dicke Lösung von Leim oder arabischem Gummi, die so warm war, daß der Phosphor in ihr schmolz, diesen nebst einigen erdigen Zusätzen, wie Kreide oder Bimstein. Diese Zündmasse brannte ruhig an der Luft ab, deren Sauerstoff zu ihrem Aufflammen nötig war. Hernach ging man also dann dazu über, in die Zündmasse sauerstoffreiches Material mit einzureiben, das den Verbrennungssauerstoff zu liefern hat. Als solches diente und dient namentlich ein Gemisch von salpetersaurem Blei mit Bleisuperoxyd. Zu diesem kommt man so, daß man Mennige, welche aus Bleioxyd und Bleisuperoxyd besteht und bekanntlich als rote Farbe dient, mit Salpetersäure übergießt. Es bildet sich salpetersaures Blei, während das Bleisuperoxyd unverändert bleibt, so daß man durch Eintrocknen dieses Magmas die gewünschte Mischung erhält. Nach dieser Methode geht die Entzündung des Phosphors so viel zuverlässiger vor sich, daß man allmählich seine Menge in der Zündmasse von 33 auf 6—8 % herunterseţen konnte. Daß man die Hölzchen erst in Schwefel und hernach in die Zündmasse taucht, hat seinen Grund darin, daß das Anbrennen des Holzes ziemlich schwer vor sich geht, so daß sich die Entzündung vom Phosphor auf den Schwefel und von diesem erst weiter übertragen muß. Der unangenehme Geruch des brennenden Schwefels, der doch hierbei in schweflige Säure übergeht (s. S. 367), führte dann zu Ersatzversuchen für ihn, und einen solchen fand man in der Imprägnierung mit Stearinsäure, die wir später kennen lernen.

Anfang der siebziger Jahre tauchten die schwedischen Streichhölzer auf, deren Erfinder im Prinzip also Böttcher schon 1848 gewesen war. Kriwanek hat 1871 als erster diese schwedischen Sicherheitszündhölzer, wie die damals noch als Geheimnis fabrizierten Hölzer genannt wurden, analysiert, da sich mit ihrer Herstellung, wie er sagt, gegenwärtig viele Fabrikanten beschäftigen, die doch nicht immer zu guten Resultaten kommen. Seine Analyse ergab, daß die Zündmasse aus einer Mischung aus 8,77 % Glaspulver, 7,12 Leim, 7,36 neutralem chromsauren Kali, 46,76 chlorsaurem Kali, 5,39 Eisenoxydhydrat, 13,07 Manganhyperoxyd, 7,41 Schwefel nebst 4,23 Feuchtigkeit bestand. Die auf den Streichflächen befindliche Substanz ergab, daß sie sich aus 3,65 % Leim, 3,19 Eisenoxydhydrat, 13,06 Manganhyperoxyd, 50,34 Schwefelantimon, 29,91 amorphem Phosphor zusammensetzte. Ob diese Analyse den nachahmenden Fabrikanten viel genützt haben wird, ist wohl mehr als fraglich.

Nähere Nachrichten über die Fabrikation gab dann Gentele 1873. Als Material für die Zündhölzchen wird in Schweden ausschließlich das Stammholz der Silberpappel verwendet, welche verhältnismäßig billig zu beschaffen ist, da sie für andere Zwecke, z. B. als Brennmaterial, nicht sehr geschätzt wird. Mit Hilfe von Maschinen werden die runden Blöcke in Furniere geschnitten, d. h. also so gegen ein Messer gedrückt, daß diese Maschine sie in Form eines endlosen Blattes abrollt. Diese Blätter werden in schmale Streifen von der Länge der zukünftigen Zündhölzchen zerlegt und nunmehr weiter in die kleinen Stäbe zerteilt, die jetzt leicht völlig ausgetrocknet werden können. Sind sie trocken, so werden sie paraffiniert, also nicht in Stearinsäure, sondern in Paraffin getaucht. Das Paraffinieren hat aber den gleichen Zweck, also den, das Hölzchen leichter entzündbar zu machen. Es erfolgt so, daß man sie in eine Lösung von Paraffin in Benzin eintaucht und dann das Benzin verdunsten läßt. Nach dieser Vorbehandlung werden sie in die Zündmasse getaucht, welche an ihnen in Form des kleinen Köpfchens hängen bleibt. Die spezielle Zusammensetzung der Zündmasse ist stets Geheimnis der betreffenden Fabrik. Nach Gentele besteht eine solche Mischung etwa aus:

Chlorsaures Kali	32 %
Zweifach chromsaures Kali .	12 %
Mennige	32 %
Schwefelantimon	24 %

Sie ist also völlig phosphorfrei; die Zündfläche dagegen besteht aus einem Gemisch von rotem Phosphor mit Schwefelantimon, welches auf sie aufgeklebt ist.

Gelegentlich der Wiener Ausstellung sind sehr ausführliche Daten über den damaligen Stand der Zündholzfabrikation in folgenden drei Ländern bekannt geworden, die noch heute ihr Interesse nicht verloren haben. Schon in diesem Berichte aus dem Jahre 1873 heißt es, daß kaum in einem anderen Lande die Zündholzfabrikation ähnliche Dimensionen erreicht und in solcher Weiterentwickelung begriffen sei, wie in Schweden. Die Ausfuhr hatte 1865 nur 1114000 kg betragen, 1871 war sie auf 4281000 kg gestiegen und hatte 1872 schon 6 Millionen kg überschritten. Damals, und wohl auch noch heute, wurden die zur Fabrikation nötigen Chemikalien vom Auslande importiert. Die Fabrik zu Jönköping erzeugte allein für gegen 2 Millionen Mark, und die übrigen 24 Fabriken zusammen etwa ebensoviel. Die Jönköpinger Fabrik, einer Aktiengesellschaft gehörig, wurde schon 1845 angelegt und beschäftigte 1872 bereits:

255	Männer
849	Weiber
105	Knaben
141	Mädchen
1350	Personen.

Von den Arbeiterinnen waren 668 in ihren Häusern nur periodisch mit dem Kleben der Schachteln beschäftigt, wie denn dieser Teil der Fabrikation auch heute noch vielerwärts Hausindustrie selbst in großen Städten, wie in Königsberg in Preußen, geblieben ist.

Zu großer Blüte hat es auch die Zündholzfabrikation in Österreich-Ungarn gebracht, indem sie in den siebziger Jahren nur wenig hinter der Schwedens zurückblieb. Es

bestanden 1873 43 größere und 79 kleinere Betriebe. Der Wert der Gesamtproduktion war etwa 9 Millionen Mark.

In Frankreich wurde im Jahre 1872 das Monopol der Zündholzfabrikation der Compagnie générale des allumettes übertragen, die 16 Millionen Frank jährlich zu zahlen hatte, solange der Bedarf des Landes unter 40 Milliarden Stück blieb. Über diesen Verbrauch hinaus wurde eine Abgabe von 0,06 % festgesetzt. Es gab derzeit in Frankreich 833 Zündholzfabriken, doch konzentrierte die Gesellschaft ihre Thätigkeit sehr bald auf 12 Etablissements. Von den damals bereits täglich erforderlichen 180 Millionen Streichhölzern waren $^5/_6$ Zündhölzer, $^1/_6$ Wachszünder. Die ersteren erforderten 45000 cbm Holz, als welches dort Eiche, Pappel, Espe, Tanne und Birke dient, zwischen 1200000 und 1500000 kg Schwefel und 300000 kg Phosphor jährlich. Die 30 Millionen Wachszünder erforderten einen jährlichen Bedarf von 300000 kg Baumwolle, 300000 kg Stearin und 6000 kg Phosphor. Die Wachszünder führen also nur diesen Namen, werden aber in Wirklichkeit aus Stearin hergestellt. Die Anzahl der beschäftigten Personen war Anfang der siebziger Jahre 6000.

Die Fortschritte der Zündholzfabrikation liegen heute hauptsächlich auf der maschinellen Seite, in chemischer Beziehung scheinen eingreifende Verbesserungen nicht mehr möglich zu sein.

Nur eine merkwürdige Neuerung tauchte im Jahre 1889 auf, um aber bald wieder zu verschwinden, das waren die von Oltosy erfundenen Zündhölzer ohne Köpfe. Zu ihrer Herstellung fand das bisher in der Zündwarenindustrie und auch sonst technisch nicht verwertete chlorsaure Natron Verwendung. Der Holzdraht wird mit einer Lösung von 20 Teilen dieses Salzes, 4 Teilen schwefelsaurem Ammoniak und 2 Teilen Gummi arabicum in 30 Teilen Wasser getränkt und sodann getrocknet. Diese Fabrikation ist also sehr bequem. Um solche Hölzchen zu entzünden, reibt man sie an einer Reibfläche bestehend aus einem Gemenge gleicher Gewichtsteile Phosphor und fein geschlemmtem Schwefelantimon, welches mit einer Gummilösung in streichbaren Zustand versetzt und auf eine Unterlage aufgestrichen ist. Da beide Enden der Hölzchen imprägniert sind, kann man das einmal benutzte Holz später noch ein zweites Mal verwenden. Diese vorzüglichen Eigenschaften kommen aber infolge eines Kardinalfehlers des chlorsauren Natrons nicht immer sicher zur Geltung, nämlich infolge der Hygroskopizität desselben. Ist die Luft ziemlich feucht, so ziehen diese Hölzchen so viel Wasser an, daß sie kaum mehr zum Entzünden zu bringen sind, und zweitens ist ein einmal gebrauchtes nach völligem Erlöschen fortgeworfenes Streichholz, im Gegensatz zu allen sonstigen Zündhölzern, immer noch feuergefährlich.

Auf maschineller Seite sind allerdings die Fortschritte der Fabrikation enorm. Wir finden einen großen Teil dieser neueren Maschinen in Bd. VIII, S. 78—84 abgebildet. 5 Arbeiter leisteten schon 1892 so viel wie ehemals 22, und seitdem scheint noch eine weit bedeutendere Verbesserung des maschinellen Betriebes in Amerika erfunden worden zu sein.

Weitere Kreise Europas wurden auf sie im Jahre 1896 aufmerksam, da infolge eines Strikes die genannte französische Monopolgesellschaft sich einige solche Maschinen anschaffte. Als die Strikenden zurückkehren wollten, erwies es sich, daß jetzt alles die Maschinen besorgten, so daß sie fast alle geradezu überflüssig waren und nicht wieder eingestellt werden konnten.

Wenn vielleicht der zehnte Teil der bisherigen Arbeiter im stande ist, ganz Frankreich mit Zündhölzern zu versorgen, so sind nun die Zündhölzchen ein Fabrikat, auf dessen Preis der Arbeitslohn schon so gut wie ohne Einfluß ist, indem sein Betrag auf die einzelne Schachtel gerechnet ein verschwindender wird. Damit wäre dann diese Industrie auf dem Standpunkte angelangt, ihre Arbeiter auf das beste besolden zu können, ohne daß jemand die Höhe des Lohnes spürte. Soweit dem Verfasser bekannt ist, liegen die Verhältnisse nur noch bei der für die Nähnadelfabrikation konstruierten neuesten amerikanischen Maschine ähnlich. Ein halbes Dutzend Arbeiter soll mit dieser im stande sein, den Bedarf der ganzen nordamerikanischen Union zu decken, und auch hier wären dann hohe Löhne auf den Preis des fertigen Produkts ohne Einfluß.

So tauchen immer neue soziale Erscheinungen und Probleme auf.

Die Einfuhr und Ausfuhr des Deutschen Reiches an Zündhölzern und Zündkerzchen betrug in 100 kg

Jahr	Einfuhr	Ausfuhr	Jahr	Einfuhr	Ausfuhr
1890	4115	19441	1893	2943	24697
1891	3560	23994	1894	2683	22393
1892	3014	25638			

Der Verbrauch an den für die Zündholzindustrie geeigneten Hölzern ist so groß, daß sie allmählich anfangen knapp zu werden, und daß man in Europa sich nach Ersatz für das Holz umsieht. In Amerika dagegen ist solches Holz noch reichlich und billig zu haben, und 100 cbm amerikanisches Cotton wood, ein sehr geeignetes Holz, sollen an Ort und Stelle zur Zeit etwa 1150 Mark kosten. Da aber die Fracht für ein solches Quantum bis Hamburg etwa 2700 Mark beträgt, ist ihr lohnender Bezug nach Europa unmöglich. Von den Ersatzversuchen gelten zur Zeit die als die aussichtsreichsten, bei denen Torf das Ausgangsmaterial bildet. Langfaseriger Torf wird auf dem Reißwolf von allem Staub befreit und sodann in einem Holländer, wie er in der Papierindustrie (s. Bd. VIII) gebräuchlich ist, gemahlen. Der so erhaltene Brei gelangt auf eine Pappenmaschine und verläßt sie in Form einer trockenen Pappe von der geeigneten Stärke. Diese Pappe passiert sogleich ein Imprägnierungsbad, hinter welchem sie auf eine Maschine gelangt, die sie in die Form von fertigen Stäbchen zerschneidet. Letztere soll in 24 Stunden 5000 kg Faserstoff zu 36 Millionen Stäbchen verarbeiten.

Die Zündholzindustrie wird jetzt schon in den an sonstigen Industrien ärmeren Ländern betrieben. Es gibt Fabriken für sie in Persien sowohl wie in Brasilien, auf Java in holländisch Indien, so gut wie in Japan, und das erschwert den Absatz der europäischen Fabriken immer mehr, zumal die Einführung von Monopolen ihn auch in Europa immer weiter einschränkt. So gibt es jetzt Monopole außer in Frankreich auch in Serbien, Rumänien und Griechenland; Italien und Portugal wollen ebenfalls auf diesem Wege ihren Finanzen aufhelfen, die Schweiz geht mit ähnlichen Absichten um, und selbst in Österreich ist von ihm von Zeit zu Zeit die Rede. Die japanische Konkurrenz mit ihren billigen Arbeitslöhnen und ihrer Intelligenz macht sich im fernen Osten namentlich fühlbar. Die Fabrik auf Java soll ihren Betrieb infolge derselben schon wieder haben einstellen müssen, und auch der Preis der Streichhölzer in Kalkutta ist durch sie außerordentlich herabgedrückt worden. Schon im Jahre 1890 betrug der Wert der aus Japan exportierten Streichhölzer 4700000 Mark. So wird für die kleineren europäischen Betriebe die Existenz immer schwerer, während die großen mit allen Hilfsmitteln ausgestatteten Fabriken allerdings noch florieren, aber Neubauten allergrößten Stiles auch ihren pekuniären Erfolg anfangen in Frage zu stellen.

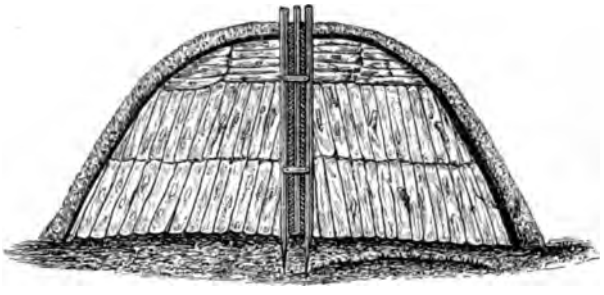
Wir haben bei der Zündholzindustrie eine Verwertung des Holzes in der chemischen Industrie kennen gelernt und wollen nun zu dessen Ausnutzung im eigentlich chemischen Sinne übergehen.

Die Verwertung des Holzes in der chemischen Industrie.

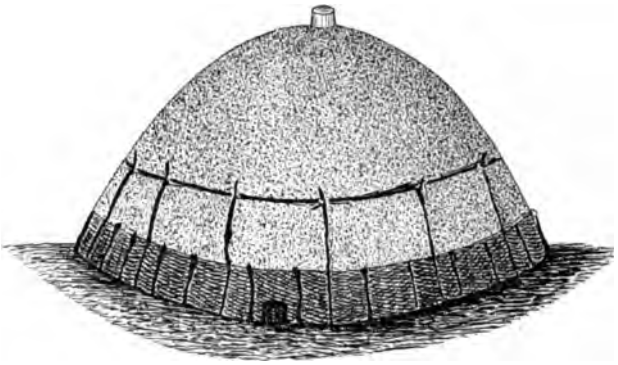
Über die Verwertung des Holzes in der chemischen Industrie wäre im allgemeinen folgendes zu sagen. Erstens dient das Holz als Brennmaterial, womit wir uns hier nicht weiter zu beschäftigen brauchen, dann, wie erwähnt, in der Zündholzindustrie. Eine eigentliche chemische Verarbeitung desselben findet für die Zwecke der Papierindustrie (s. Bd. VIII) zu Cellulose statt, worüber wir das Wichtigste S. 369 mitgeteilt haben. Dann kommt schließlich seine Verkohlung in Betracht. Ursprünglich wurde das Holz nur zur Gewinnung von vorzüglichem leicht transportablen Brennmaterial verkohlt, d. h. in Holzkohle übergeführt. Heute fängt man aber die sich aus dem Holze bei diesem Prozeß verflüchtigenden Produkte ebenfalls auf, und deren Gewinnung und Verwendung wollen wir gleichfalls kennen lernen.

Wohl bis in die Mitte dieses Jahrhunderts ist alles Holz in Meilern verkohlt worden, wenn wir von den geringen Mengen absehen, die für die Zwecke der Pulverfabrikation (s. S. 451) einer vorsichtigeren Verkohlung unterworfen wurden. Ein solcher

Meiler hat, wie die Abbildung zeigt, die Form eines Kegels, welcher aus den zu verkohlenden Holzscheiten zusammengesetzt wird. Über den Kegel kommt eine poröse Decke von Erde und Kohlenklein. Das Anzünden erfolgt entweder von dem in der Mitte freigelassenen Kanal aus, oder dadurch, daß man am Boden einen solchen ausgespart hat, der dann diesem Zwecke dient. Das anfangs brennende Holz wirkt verkohlend auf die nächstliegenden Schichten, deren sich verflüchtigende Bestandteile die ferner gelegenen Scheite völlig austrocknen. Nun ist es die Aufgabe des Köhlers, jedes eigentliche Brennen zu verhüten und das Glimmen innerhalb des Meilers so zu leiten, daß wohl alles Holz in Holzkohle übergeht, aber möglichst wenig von ihm verbrennt. Zu dem Zweck dient ihm der aus dem Meiler aufsteigende Rauch als Erkennungszeichen. An den Stellen, an denen er stärkere Hitze wünscht, stößt er Löcher in die Deckschicht, und die hier jetzt zutretende Luft bewirkt sofort eine Zunahme des Brennens oder Verglimmens, und damit schneller fortschreitende Verkohlung. Auch auf die Richtung des Windes, welcher den Meiler trifft, muß er achten, indem er ihn zu sehr anfacht, wenn sich Öffnungen auf seiner Seite befinden. So ist denn die gute Leitung einer solchen Verkohlung eine Arbeit, die viel Aufmerksamkeit und auch viele Übung erfordert.



464. Holzverkohlung im Meiler.



463. Äußere Ansicht des Meilers.

Ist der richtige Grad der Verkohlung erreicht, so schließt man alle Öffnungen, und 24 Stunden später löscht man die noch heißen Kohlen mit Wasser ab. Wollte man auf ihr völliges Erkalten warten, so würde, weil ein wirklich dichter Luftabschluß nicht zu erzielen ist, noch viel Kohle verbrennen. Eine gut geleitete Meilerverkohlung ergibt aus 100 Teilen Holz (die im Durchschnitt 40 % Kohlenstoff, 20 % Wasser u. s. w. enthalten), 22—28 % Holzkohle, die aus 90 % Kohlenstoff, 1—2 % Wasserstoff, 2—4 % Sauerstoff, 2—10 % Wasser und 2—5 % Asche besteht.

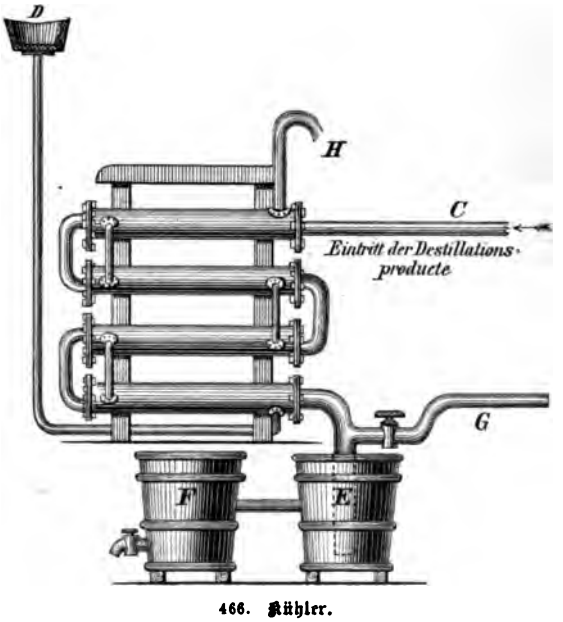
Daß man durch Verbrennen von Holzkohle eine intensivere Hitze als mit Holz erzielen kann, rührt daher, daß sie im Volumen mehr brennbares Material als dieses enthält, aus dem jetzt alles leicht Flüchtige ausgetrieben ist. Man bringt also in dieser Form weit mehr Brennmaterial in den betreffenden Feuerraum, und die von ihm entwickelte Hitze wird nicht zuerst zum Teil zum Austreiben von Wasser und leichtflüchtigen Substanzen verwertet. Das Verhältnis ist also das gleiche wie zwischen Steinkohlen und Koks. Nur haben Holzkohlen vor letzteren den Vorzug, wenig Asche, die dazu fast frei von Schwefel ist, zu enthalten, was für viele Zwecke von so ausschlaggebender Bedeutung ist, daß erstere, obgleich sie viel billiger sind, namentlich in der Metallbearbeitung sie häufig nicht zu ersetzen vermögen. Gibt es doch heute noch sogar Hochöfen, in denen das Eisen statt mit Koks mit Holzkohlen ausgeschmolzen wird. Dieses Holzkohleneisen ist natürlich viel teurer als das gewöhnliche Koksroheisen, aber seiner vorzüglichen Eigenschaften halber bezahlt man für Zwecke, bei denen diese Vorzüge zur Geltung kommen sollen, gern den höheren Preis, worüber wir ausführlicheres im Abschnitt Eisenindustrie (Bd. V) finden.

Wie aus den mitgeteilten Zahlen folgt, liefern 100 Teile Holz noch nicht einmal 30 Teile Holzkohle, und wenn Holz auch 20 % Waſſer enthält, ſo kommen trotzdem alſo 40 % von ſeinem Gewicht nicht wieder zum Vorſchein. Ein großer Teil verbrennt eben zur Lieferung der nötigen Hitze, der andere geht in Form flüchtiger Produkte verloren. Da dieſe flüchtigen Produkte teilweiſe recht wertvoll ſind, hat man deshalb vielerorten die Meilerverkohlung verlaſſen und erhitzt das Holz in geſchloſſenen Apparaten, um die flüchtigen Produkte auffangen zu können.

464. Verkohlungscylinder.

465. Verkohlungsofen.

Wir geben hier erſtens eine Abbildung der Form der Apparate, wie ſie Robiquet beſchrieben hat, welche uns ein durchaus anſchauliches Bild der Behandlung des Holzes für den Zweck der trockenen Deſtillation liefern, indem ihr Prinzip, das Erhitzen des Holzes im geſchloſſenen Raume, auch in allen weiteren Konſtruktionen wiederkehren muß. Der Cylinder A wird mit dem zu deſtillierenden Holze gefüllt, ſodann mit einer feſtſchließenden Kappe verſehen und mittels Flaſchenzuges in den rundgemauerten Ofen B gehoben, der dann ſeinerſeits mit einem Deckel verſchloſſen wird. Die beim Erhitzen des Cylinders aus ihm entweichenden flüchtigen Produkte des Holzes gelangen in das Rohr C des Kühlers, welches von einem weiteren Rohr umgeben iſt, durch das von D aus eingeleitetes kaltes Waſſer fließt, welches bei H wieder abläuft. Die aus dem Kühler herauslaufenden flüſſigen Deſtillationsprodukte ſammeln ſich in den Gefäßen E und F, während die gasförmig gebliebenen durch das Rohr G weitergeleitet werden. Sie gelangen durch dieſes in die Ofenfeuerung zurück, in der ſie mit verbrennen.



466. Kühler.

Statt dieſer Apparate werden jetzt auch vielerorts liegende Retorten benutzt, wie ſie z. B. Richard Luhn zu Haſpe in Weſtfalen liefert, der zahlreiche Holzverkohlungsanlagen im Inlande und Auslande dort auch für die engliſche Regierung gebaut hat. Seine Retorten ſind aus beſtem Holzkohleneiſen hergeſtellt und mit ſchmiedeeiſernen oder gußeiſernen Thüren verſehen. Je zwei Retorten, die meiſt in einem Ofen liegen, münden in einen Kühler, welcher die Einrichtung hat, daß die Gaſe der noch im Betriebe befindlichen

Retorte nicht in die entleerte Retorte treten können, womit jede Explosionsgefahr ausgeschlossen ist.

Ausführliche Veröffentlichungen darüber, wie sich die Holzdestillation im großen gestaltet, verdanken wir Sartig, der sie in der Chemikerzeitung mitgeteilt hat.

Nachdem bis in die Mitte der achtziger Jahre die Holzverkohlung unter Gewinnung der Nebenprodukte sich als recht rentabel erwiesen hatte, nahm die Anlage neuer Fabriken derart zu, daß seitdem die Preise der Verkohlungsprodukte sehr gesunken sind. Besondere Vorbedingungen für die Lebensfähigkeit eines Etablissements zur Holzverkohlung sind zur Zeit ein günstiger Absatz für die erzeugte Holzkohle, und vor allem möglichst billiges Holz. Die Fabriken, bei deren Anlage hierauf nicht genügend Rücksicht genommen war, sind alle bald wieder eingegangen. Vielleicht stellen patentierte Verfahren der Holzverkohlung, die jetzt im großen durchprobiert werden, die ganze bisherige Art der Fabrikation aber überhaupt in Frage; zuverlässiges über sie ist noch nicht bekannt.

467. Holzverkohlungsretorte.

Die besten Resultate geben Buche, Birke und Eiche, und namentlich wird erstere viel verarbeitet, da es für sie kaum eine bessere Verwertung gibt. Aber auch diese Hölzer geben nur unter Leitung eines erfahrenen Chemikers gute Erfolge, weil dieser allein das Rohprodukt, das erst in Form chemisch reiner Körper wirklich wertvoll ist, in diese überzuführen versteht. Da die trockene Destillation von Hölzern in den kleinen Gefäßen des

468. Kühler nach Richard Luhn.

Laboratoriums ganz andere Zahlen gibt, als die auf diesem Wege im großen durchgeführte Verarbeitung, können die in der Litteratur als Ausbeute verzeichneten Laboratoriumsangaben zu bedenklichen Irrtümern Veranlassung geben, und durch Sartig wissen wir folgendes. Er verarbeitete Rotbuchenholz, das bereits zwei Jahre vorher gefällt, also sehr gut ausgetrocknet, aber noch völlig gesund und ohne faulige Stücke war. Die fast ausschließlich gerade gewachsenen Stämme, nicht unter 100 mm stark, waren gespalten zu genau 10 Raummeter aufgestellt. Durch Vergleich von etwa 20000 Raummetern im Walde eingekauften und abgenommenen Holzes mit den daraus auf dem Fabrikhof aufgestapelten Raummetern Buchenscheitholz ergab sich, daß ein Raummeter Buchenholzwaldmaß $1\,^1/_8$ Raummeter Buchenscheitholz auf dem Fabrikhofe entsprach.

Zur Verkohlung dienten stehende schmiedeeiserne 12 mm starke Retorten, von 3,1 m Höhe und 1,25 m Durchmesser, und zwar wurden drei solche Retorten gleichzeitig in Gang gehalten, die nach der Füllung in die gemauerten Verkohlungsöfen eingehoben wurden. Diese Art der Verkohlung hat vor der in liegenden Retorten nach Sartig den Vorzug, daß die Holzkohle weniger Abfall gibt, da man sie aus den nach beendeter Verkohlung aus dem Ofen gehobenen und umgelegten Retorten nach dem vollständigen Erkalten vorsichtig herausnehmen kann. Die erwähnten 10 Raummeter Buchenholz wogen 3959 kg. In die drei Retorten gelang es 3647 kg oder 9,21 Raummeter einzubringen. Die

Temperatur in den Retorten wurde so gehalten, daß der Prozeß in 15 Stunden beendet war, und sie betrug während dieser ganzen Zeit etwa 350°

Retorte 1 ergab	552,09 kg	Holzessig	mit	Teer.
Retorte 2 „	582,65 kg	„	„	„
Retorte 3 „	532,70 kg	„	„	„

also ganz gleichmäßig den Prozeß zu leiten, hat man nicht in der Hand. Aus der Gesamtmenge Flüssigkeit setzten sich 220 kg Holzteer ab, so daß 1448,44 kg Holzessig erhalten wurden.

Die Ausbeute an Holzkohle betrug aus den 3 Retorten 1122 kg, aus denen durch Aussieben 89 kg Abfallkohle entfernt wurden. Zur Verkohlung waren als Heizmaterial 419 kg Steinkohle verbrannt worden, oder 45,5 kg für den Raummeter. Die Verarbeitung der rohen Essigsäure auf essigsauren Kalk, wir kommen gleich hierauf zurück, ergab 27 kg 80 bis 82 prozentigen essigsauren Kalk aus einem Raummeter Buchenholz. Aus je 100 kg Holzessig wurden 2,946 kg absoluter Holzgeist gewonnen. Aus je 100 kg Holzteer wurden bei seiner Verarbeitung erhalten erstens 20,4 kg saures Wasser, die bei der Weiterverarbeitung 0,656 kg Holzgeist und 2,94 kg essigsauren Kalk ergaben; zweitens 5,1 kg leichtes Teeröl vom spezifischen Gewicht 0,970; drittens 12,0 kg schweres Teeröl vom spezifischen Gewicht 1,048; viertens 61,0 kg Holzteerpech. Bei der Destillation waren 20,8 kg Steinkohlen verfeuert worden.

Auf je einen Raummeter frischen entrindeten Birkenholzes, welches 369 kg wog, das in gleicher Weise in den drei Retorten behandelt war, berechnet sich die Ausbeute in folgender Art:

Holzkohlen	113,8 kg	darin an Holzgeist	2,985 kg
Holzessig (mit 11,3% Säuregehalt)	199,0 kg	Holzteer spez. Gew. 1,078 . .	20,3 kg

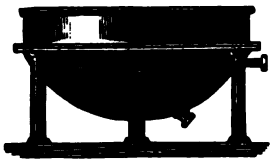
Aus den mitgeteilten Ausbeutezahlen sehen wir bereits, worauf die beim trockenen Erhitzen des Holzes übergehenden durch Abkühlen wieder verflüssigten Produkte größtenteils verarbeitet werden. Die aus dem Holz durch trockene Destillation erhaltene Flüssigkeit trennt sich bei einigem Stehen in zwei Schichten. Die obere ist eine leichtbewegliche braune Flüssigkeit von stark saurem und zugleich empyreumatischem Geruch, die untere eine schwarze, dicke, ölige, halbflüssige Masse. Erstere nennt man Holzessig, letztere Holzteer. Hat man sehr harzreiche Hölzer destilliert, so sammelt sich zwischen diesen beiden noch eine dritte Schicht, das rohe Terpentinöl.

Die Trennung der drei Schichten erfolgt durch Hähne, welche in verschiedener Höhe an den Sammelgefäßen angebracht sind. Sie selbst sind Gemische der verschiedensten Körper, so sind im Holzessig neben der bei weiten überwiegenden Essigsäure bisher noch 25 andere Produkte in kleinen Mengen nachgewiesen, und aus dem Holzteer etwa 20 Bestandteile chemisch rein dargestellt worden.

Bei der Überführung des Holzessigs in reine Essigsäure wird nun gleichzeitig der Methylalkohol, der im gewöhnlichen Leben Holzgeist heißt, mitgewonnen. Er findet seine Verwendung hauptsächlich in der Teerfarbenindustrie. Er ist der einfachste Alkohol, den es geben kann. Alkohol entsteht dadurch, daß in einem Kohlenwasserstoff (siehe S. 315) ein Wasserstoffatom durch Hydroxyl OH vertreten wird. Der einfachste Kohlenwasserstoff ist doch das Methan CH_4, also ist der einfachste Alkohol, unser Holzgeist, $CH_3 \cdot OH$. In England dient er zum Denaturieren des Trinkbranntweins, denn wenn der eigentliche Alkohol, der Trinkbranntwein, ihm auch chemisch sehr nahe steht, er ist nur um eine Methylgruppe reicher und hat die Formel $CH_3—CH_2 \cdot OH$, so ist doch seine Wirkung auf den menschlichen Körper und sein Geschmack ganz verschieden, ja der Methylalkohol geradezu ungenießbar.

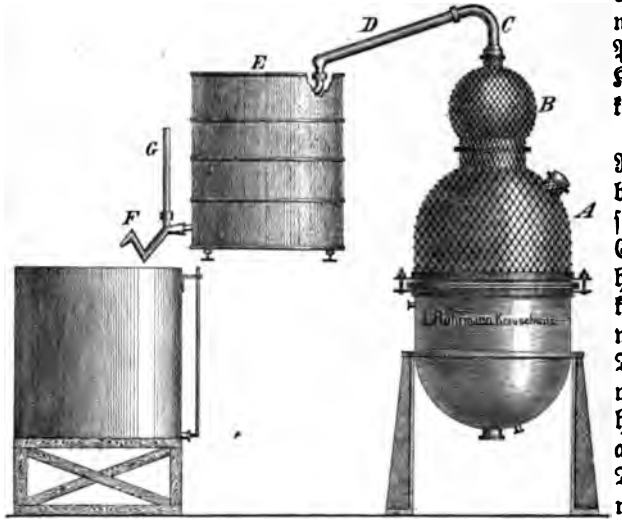
Zur Trennung der Essigsäure vom Methylalkohol verfährt man, da es die Reinigung der Essigsäure so wie so erfordert, derart, daß man die Säure durch Zugabe von Kalk oder kohlensaurem Natron in essigsauren Kalk oder essigsaures Natron verwandelt. Destilliert man jetzt die neutralisierte Flüssigkeit, so kann nur der Methylalkohol mit den ihn verunreinigenden Substanzen übergehen, die essigsauren Salze als nichtflüchtige Verbindungen bleiben in der Destillierblase.

Hat man mit Kalk neutralisiert und den Holzgeist abdestilliert, so läßt man die dunkelbraune Lösung des essigsauren Kalks sich klären und dampft sie sodann zur Trockne. Da essigsaure Salze auch in höherer Temperatur sehr beständig sind, kann man den essigsauren Kalk ohne Schaden auf 250° erhitzen. Thut man dies längere Zeit, so werden die ihm noch anhaftenden teerigen Bestandteile teils verflüchtigt, teils verkohlt, und löst man das so behandelte Material jetzt wieder in Wasser, so erhält man, wenn man die herumschwimmenden Kohleteilchen abfiltriert, eine fast wasserhelle Lösung, die durch Eindampfen wieder den festen essigsauren Kalk liefert. Letzteres erfolgt in einer Pfanne mit doppeltem Boden, zwischen den Dampf geleitet wird. Der so erhaltene essigsaure Kalk wurde früher mit der berechneten Menge Salzsäure übergossen, in welcher er sich auflöst, so daß sich eine Destillation dieser Flüssigkeit aus einem kupfernen Apparat, an den man eine bleierne Kühlschlange anfügte, leicht bewerkstelligen ließ.



469. Eindampfpfanne.

Der übergegangene Essig zeigte einen Gehalt von durchschnittlich 40 % Essigsäure, roch noch schwach empyreumatisch und hatte öfters einen Stich ins Gelbliche. Zu seiner Reinigung destillierte man ihn nochmals unter Zusatz einiger Prozente doppeltchromsauren Kalis, dessen oxydierende Wirkung seinen Geruch beseitigte.



470. Rektifikationsapparat für Essigsäure.

Wollte man sich für diese Rektifikation ebenfalls einer bleiernen Kühlschlange bedienen, so läge die Gefahr vor, daß die Essigsäure bleihaltig wird, man hat deshalb in manchen Fabriken silberne Kühlschlangen verwendet, jetzt liefert aber die Thonwarenfabrik von Rohrmann in Krauschwitz Kühler hierzu aus Thon, ja sie fertigt auch den Helm der Blase aus Thon, weil die Essigsäuredämpfe metallene Helme stark angreifen.

Im beistehend abgebildeten Apparat ist der Oberteil der Destillierblase A aus Thon, ebenso der Helm B. Das thönerne Aufsatzrohr C führt vermittelst des Überleitungsrohres D die Dämpfe zum Thonkühler, der sich im Kühlfasse E befindet. Aus ihm läßt man die Essigsäure vermittelst des ein Aufsatzrohr G tragenden Syphons F ab. Die Randflächen vom Oberteil A sind sauber abgeschliffen, wie auch die Randflächen des metallenen Unterteils sauber abgedreht werden müssen, wenn eine gute Abdichtung erzielt werden soll. Ober- und Unterteil werden sodann mittels eines geeigneten, aus starkem Bandeisen bestehenden Verschlusses durch Schrauben und Flanschen zusammengeflanscht.

Heutzutage wird die Zersetzung des holzessigsauren Kalks aber nicht mehr mit Salzsäure, sondern mit Schwefelsäure bewirkt. Man bringt ihn zu dem Zweck in gußeiserne Gefäße, die mit einem Rührwerk wegen des sich bildenden Gipses (schwefelsauren Kalks) versehen sind, übergießt ihn mit Schwefelsäure von 60° B und bewirkt die Destillation durch Einleiten von überhitztem Wasserdampf. Zuerst geht hierbei der größte Teil öliger Substanzen, welche den empyreumatischen Geruch des holzessigsauren Kalks veranlassen, über, und so kann dieser leicht entfernt werden. Die hernach gewonnene rohe Essigsäure hat einen Gehalt von 70 % Säure. Wird sie ihrerseits rektifiziert, so liefert sie bei der

erneuten Destillation anfangs wenig 40prozentige Säure, während sehr bald 80prozentige Essigsäure übergeht. Auf diesem Wege gewinnt man aus 100 kg essigsaurem Kalk etwa 10 kg 40prozentige und 64 kg 80prozentige Essigsäure, eine Ausbeute an hochprozentiger Ware, die beim Salzsäureverfahren niemals zu erreichen war.

Der billige Preis der Soda hat allmählich dazu geführt, sich ihrer an Stelle des Kalks zur Neutralisation des rohen Holzessigs zu bedienen. Hat man genügend von ihr zugesetzt, so scheiden sich aus der Flüssigkeit beträchtliche Mengen von Teer ab, die man mechanisch trennt. Diese selbst wird sodann in einer Destillierblase erhitzt, um den Holzgeist als Destillat zu gewinnen. Ist er übergetrieben, so wird die Lösung in offenen Pfannen bis zur Kristallisation eingedampft. Sie scheidet ein rötlich gefärbtes, schon ziemlich reines essigsaures Natron aus. Die Mutterlauge liefert nach erneutem Eindampfen noch weiteres Salz. Durch mehrfaches Umkristallisieren reinigt man die so erhaltene Rohware. Die letzte Mutterlauge, die ganz schwarz aussieht, wird zur Trockne gedampft und zum Schmelzen erhitzt. Das essigsaure Natron verträgt diese Temperatur, während die Verunreinigungen zerstört und wasserunlöslich werden. Ebenso muß auch alles kristallisierte Salz schließlich geschmolzen werden, um seinen empyreumatischen Geruch zu zerstören. Kristallisiert man die Schmelze durch Auflösung in der passenden Menge heißen Wassers alsdann um, so liefert das Filtrat jetzt gereinigtes essigsaures Natron. Will man Essigsäure aus ihm darstellen, so verfährt man wie beim essigsauren Kalk, indem man es mit Salzsäure oder Schwefelsäure in Destillierblasen zerlegt.

Außer der Essigsäure bis zu 80 % wird aber heutzutage aus dem Holzessig viel 100 prozentige Essigsäure dargestellt, welche namentlich in der Anilinfarbenindustrie gebraucht wird und die bei ihrer Versendung eine große Frachtersparnis ermöglicht.

Die 100 prozentige Essigsäure heißt auch Eisessig. Diesen etwas geheimnisvollen Namen hat sie daher, weil sie schon bei 17° zu einer eisähnlichen Masse erstarrt, also in einem noch verhältnismäßig warmen Zimmer in eine eisähnliche Masse übergehen kann. Ihre Darstellung erfolgte, bis Rohrmann vor kurzer Zeit einen neuen Apparat für den Zweck konstruiert hat, stets so, daß man reines essigsaures Natron durch Schmelzen völlig entwässerte und mit wasserfreier Schwefelsäure übergoß. Indem sich die Schwefelsäure des Natrons bemächtigte, wurde die 100 prozentige Essigsäure frei. Diese siedet bei 138°. Nimmt man also die Mischung des Salzes mit der Schwefelsäure in einem Destillationsapparat vor, so kann sie leicht überdestilliert werden. Sie erfordert stets einen silbernen Kühler, weil sie alle anderen Metalle zu sehr angreift. Die Umsetzungsgleichung, nach welcher sie auf diesem Wege gewonnen wird, ist folgende:

Essigsaures Natron + Schwefelsäure = Essigsäure + saures schwefelsaures Natron

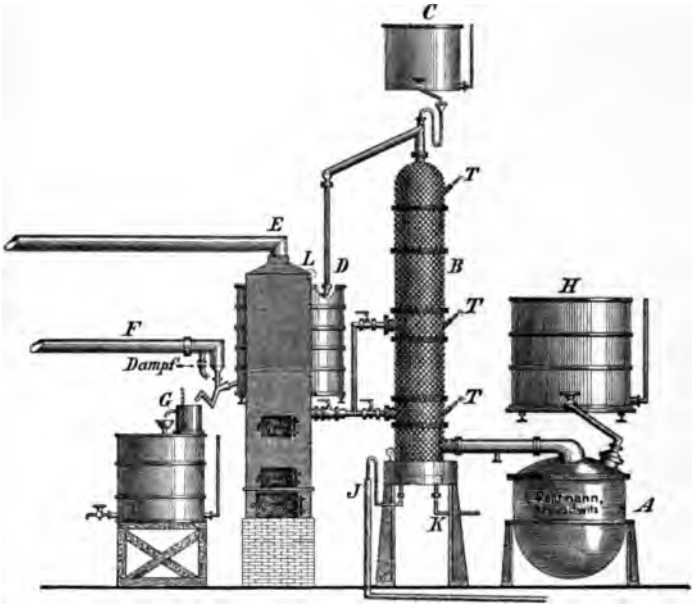
$$CH_3 \cdot COONa + H_2SO_4 = CH_3 \cdot COOH + NaHSO_4$$

Die Gründe für die Bildung des sauren schwefelsauren Natrons bei derartigen Prozessen sind uns von früher her bekannt (siehe Seite 444). Das Rohrmannsche Verfahren zur Gewinnung hochprozentiger Essigsäure oder des Eisessigs beruht dagegen auf folgendem. Die wasserdampfhaltigen Essigsäuredämpfe kommen in der Wärme mit Schwefelsäure zusammen, welche ihnen infolge ihrer wasserentziehenden Kraft ihr Wasser raubt, und je nach der Art des Arbeitens mit dem Apparat kommt man zu 80prozentiger Säure oder zu Eisessig. Man spart hier also bei der Darstellung der hochprozentigen Säuren die Überführung der Rohsäure in chemisch reines, absolut trockenes essigsaures Natron und bedarf auch nicht vollkommen wasserfreier Schwefelsäure. Es fallen also die Kosten für die Soda und Reinigung des essigsauren Natrons, sowie auch fast ganz die für die Schwefelsäure fort, die nach dem älteren Verfahren schließlich in Form des sauren schwefelsauren Natrons nur einen sehr geringen Wert hat, während sie hier in nur etwas verdünntem und wenig verunreinigtem Zustande abläuft und deshalb als Abfallschwefelsäure zum Aufschließen der Phosphate in den Superphosphatfabriken Verwendung finden kann.

Die Handhabung des Apparates ist folgende. Das Gefäß H ist ein Thongefäß, in welches die durch Zersetzung von essigsaurem Kalk mit Schwefelsäure erhaltene 70 prozentige Rohsäure gegeben wird, die von da beliebig in die Destillierblase A abgelassen wird. Die Erwärmung dieser erfolgt durch zwischen ihre Doppelwand geleiteten, genügend heißen

Dampf, und die aus ihr abdestillierten Essigsäuredämpfe gelangen in den Kolonnenapparat B, welcher von innen mit zahlreichen durchlochten säurefesten Thonplatten ausgesetzt ist. Über diese Thonplatten rieselt ununterbrochen von oben her aus dem Gefäß C Schwefelsäure, welche den aufsteigenden Dämpfen das Wasser möglichst entzieht, indem sie von Platte zu Platte ihnen entgegenläuft. Schließlich gelangt die Schwefelsäure in verdünntem Zustande durch das Syphon J nach einem beliebig angelegten Sammelbassin, während die von den Wasserdämpfen befreiten essigsauren Dämpfe sich in der Kühlschlange D kondensieren. Damit sich in der Kolonne die Essigsäuredämpfe nicht bereits zu Essig kondensieren, sondern sich in ihr eine Temperatur von 116—120° erhält, ist folgende Einrichtung getroffen.

Der mit E bezeichnete Ofen dient zur Erzeugung von heißer Luft, die mit Hilfe eines Ventilators, dessen Antrieb bei L ersichtlich ist, in die Kolonne getrieben wird. In dieser befindliche Thermometer T gestatten eine leichte Beobachtung ihrer Innentemperatur, von also etwa 120°, welche Temperatur genügt, damit sich der im Untersatz des Turmes B ansammelnden Schwefelsäure nicht etwa Essigsäure beimischt. Sollte durch Unachtsamkeit des Arbeiters dies doch gelegentlich vorkommen, so kann die Essigsäure aus der Schwefelsäure dadurch, daß gespannter Dampf in den Dampfmantel des Untersatzes eingelassen wird, wieder ausgetrieben werden.



471. Überführung von roher Essigsäure in Eisessig.

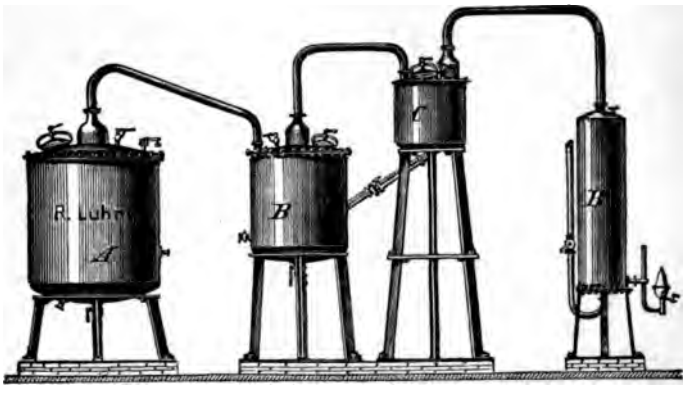
Das Einblasen der heißen Luft hat den Zweck, die eventuelle Kondensation der Essigsäure in der Kolonne möglichst auszuschließen. Zugleich entfernt sie viel Empyreuma, dessen Entfernung auch dadurch begünstigt wird, daß F ein Sauge-apparat ist, welcher das Empyreuma kontinuierlich aus dem Turme herauszieht. Die schließlich aus der im Bottich D liegenden Thonkühlschlange abfließende Säure ist wasserhell und klar, und das in E schwimmende Aräometer zeigt die Stärke an, mit welcher sie das System verläßt. Die so gewonnene starke oder stärkste Säure unterliegt dann zu völliger Entfernung von mitgerissenen oder gelösten Substanzen einer nochmaligen Destillation aus dem oben bereits abgebildeten Apparate (Abb. 470). In diesem entfernt ein Zusatz von saurem chromsauren Kali den Rest des Empyreumas.

Der Wert des aus Spiritus auf die uralte Art vermittelst dessen Oxydation durch Luft in den jetzt sehr verbesserten Essigbildern gewonnenen Essigs schwankt stark, geht aber fast kontinuierlich zurück, und im Anschluß daran bewegen sich die Preise des aus Holz gewonnenen Essigs. Während 1884 in Berlin 100 l 10 prozentigen Essigs aus Spiritus etwa 12 Mark wert waren, stellte sich der Preis 1894 nur auf 7—8 Mark, indem sein Wert sich nach den Spirituspreisen richten muß. Bei den hohen Spirituspreisen des Jahres 1891 war 10 prozentiger Essig etwa um $^1/_5$ seines Wertes gestiegen. Aber sobald derartige Preissteigerungen eintreten, macht sich die Konkurrenz des aus Holzessig gewonnenen völlig gereinigten Essigs, der durch Verdünnen auf 10% gebracht wird, stark

geltend. Hierbei ist noch zu berücksichtigen, daß Essig aus Spiritus, weil er nicht viel über 10% stark hergestellt werden kann, eine Ware ist, welche einen weiten Transport wegen der im Verhältnis zum Wert der Ware unverhältnismäßig hohen Frachtspesen nicht verträgt, was beim Eisessig nicht der Fall ist.

Salze der Essigsäure. Von den Salzen der Essigsäure lernten wir bereits das Natron- und das Kalksalz kennen. Eine bedeutende Rolle in der Technik spielen außerdem noch das Bleisalz und das Kupfersalz.

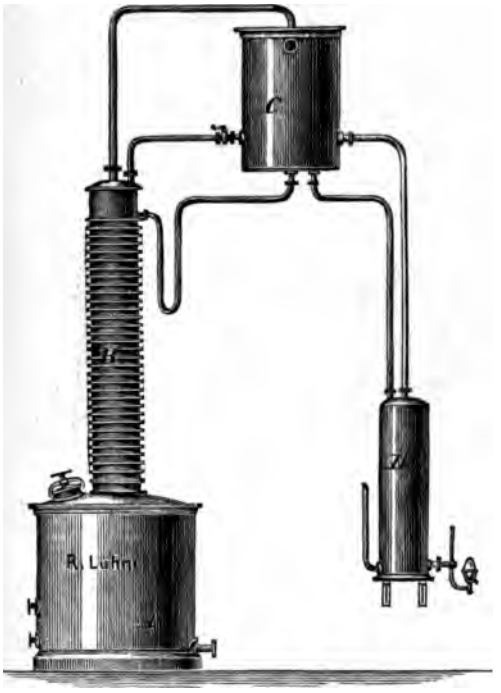
Das essigsaure Blei, der Bleizucker, wird so erhalten, daß man Bleiglätte, diese ist ein Gemisch von Bleioxyden, in Essigsäure auflöst. Da die Lösung des essigsauren Bleis noch weiteres Bleioxyd löst und in diesem Zustande nicht kryställisiert, wird sie, wenn sie die nötige Konzentration erreicht hat, mit Essigsäure wieder schwach sauer gemacht. Jetzt ist alles Bleioxyd als essigsaures Blei vorhanden, und nun kryställisiert sie mit Leichtigkeit. Die erhaltenen Krystalle sind sogleich genügend rein, und ihre Mutterlauge wird der nächsten Portion zugesetzt. Benutzt man als Essigsäure jene Rohsäure nach ihrer einmaligen Reinigung, welche die Holzdestillation liefert, so erhält man den braunen Bleizucker, der ebenfalls Handelsware ist. Löst man in einer Lösung von essigsaurem Blei absichtlich Bleioxyd auf, so hat man, nach dem Verdünnen mit Wasser, das Bleiwasser der Apotheken, das als Hausmittel soviel Verwendung findet. Sein stets trübes Aussehen rührt daher, daß die Kohlensäure der Luft auf dasselbe einwirkt. Indem sie mit dem nachträglich gelösten, nur sehr schwach in der Flüssigkeit gebundenen Bleioxyd sich zu kohlensaurem Blei verbindet, entsteht dieses weiße in Wasser unlösliche Salz, welches die erwähnte Trübung veranlaßt, und jedesmal bilden sich neue Mengen von ihm, wenn die Flasche geöffnet wird, so daß die Kohlensäure der Luft mit dem Inhalt in Berührung kommt.



472. Apparat zur Gewinnung von Holzgeist.

Das essigsaure Kupfer heißt im gewöhnlichen Leben Grünspan, dieser ist aber nie das neutrale Salz, sondern stets basisch, d. h. enthält einen Überschuß an Kupferoxyd. In Südfrankreich bereitet man ihn so, daß man Kupferplatten zwischen Weintrester packt. Der noch in diesen vorhandene Zucker geht in Alkohol und dieser weiter in Essig über, welcher die Bildung des Grünspans veranlaßt, der hernach von den Kupferplatten abgekratzt und gesammelt wird. In anderen Gegenden packt man Kupferplatten zwischen mit Essig getränkte Lappen, auch hier geht dann die Grünspanbildung vor sich. Der Grünspan selbst ist eine weit weniger benutzte Farbe als das so giftige Schweinfurter Grün, zu dessen Herstellung es früher diente. Das Schweinfurter Grün ist eine Verbindung von essigsaurem Kupfer mit arsenigsaurem Kupfer, und seine Darstellung geschah ehemals so, daß man arsenige Säure in viel heißem Wasser durch langes Kochen, sie löst sich nämlich nur schwer, auflöste, und diese zu mit siedendem Wasser übergossenem Grünspan fließen ließ. Es tritt eine Einwirkung ein, durch welche der Grünspan sich in die neue, so schöne grüne Farbe verwandelt, welche abfiltriert und getrocknet wird. Heute geht man bei Herstellung der Farbe vom billig gewordenen Kupfervitriol aus. Diesen, der bekanntlich schwefelsaures Kupfer ist, löst man in heißem Wasser und setzt die berechnete Menge essigsaures Natron zu. Jetzt ist in der Flüssigkeit infolge der doppelten Umsetzung essigsaures Kupfer vorhanden, und fügt man ihr die siedende Lösung von arseniger Säure zu, so scheidet sich nunmehr das Schweinfurter Grün aus.

Der Holzgeist. Wir erfuhren, daß, wenn die rohe Essigsäure mit Kalk oder Soda neutralisiert ist, man aus der neutralisierten Flüssigkeit durch Destillation den Holzgeist, welcher schon bei 66° siedet, leicht übertreibt. Hierzu dient z. B. der Apparat von Luhn (s. Abb. 472), bei dem die Flüssigkeit in A erhitzt wird. Der Holzgeist passiert zu seiner Reinigung und zum Absetzen von Wasser noch die beiden kupfernen Blasen B und C, um in den Kühler D zu treten, aus dem er abläuft. Der so in der Vorlage erhaltene Holzgeist enthält aber noch manche Verunreinigungen, z. B. Aceton. Um ihn von diesem möglichst zu befreien, destilliert man ihn nochmals in einem Kolonnenapparat (s. die Gründe für dessen reinigende Kraft im Abschnitt Spiritusindustrie, Bd. IV), wie ihn ebenfalls Luhn liefert. Er besteht aus einer kupfernen oder schmiedeeisernen Blase A mit kupferner Heizschlange, auf der die Kolonne B sitzt, an welche sich der Kondensator C schließt, von dem aus die nun fast reinen Holzgeistdämpfe in den Kühler D gelangen. Da sich bei der erstmaligen Rektifikation viele Unreinigkeiten in der Kolonne absetzen, baut Luhn den Apparat so, daß sie schnell und leicht gereinigt werden kann. Doch ist eine völlige Reinigung des Holzgeistes auf diesem Wege überhaupt nicht zu erzielen. Um das Aceton zu entfernen, ist z. B. patentiert worden, in ihn Chlorgas einzuleiten. Dadurch geht das Aceton in hochsiedende Körper über, so daß eine erneute fraktionierte Destillation den Holzgeist frei von ihm liefert. Ob das Verfahren praktisch verwertet wird, ist nicht bekannt.



478. Rektifizierapparat für Holzgeist.

Handelt es sich um Herstellung chemisch reinen Methylalkohols, so kann dazu nur ein schon von Wöhler vor fast 50 Jahren angegebenes Verfahren dienen. Der Holzgeist als ein zur Gruppe der Alkohole gehöriger Körper verbindet sich ziemlich leicht mit Säuren, z. B. mit Oxalsäure zu dem als Oxalsäuredimethylester zu bezeichnenden Körper. Der Holzgeist hat nämlich den offiziellen Namen Methylalkohol, den man teilweise in der neuen Verbindung wiederkehren sieht. Der Oxalsäuredimethylester hat seinerseits ein ausgezeichnetes Kristallisationsvermögen, kann infolgedessen durch wiederholtes Umkristallisieren leicht in den Zustand chemischer Reinheit übergeführt werden. Ist dieses Ziel erreicht, und zerlegt man ihn jetzt wieder in seine Komponenten, so wird der Methylalkohol, der Holzgeist, als chemisch reiner Körper überdestillieren.

Der Holzteer, welchen die Holzverkohlung liefert, findet nur geringe Anwendung. Das aus ihm hauptsächlich dargestellte Produkt ist das Kreosot, und für dessen Gewinnung scheint nur Buchenholzteer verwendbar. Das Kreosot ist von Reichenbach 1832 in diesem aufgefunden und benannt worden, kurze Zeit darauf wurde die Karbolsäure im Steinkohlenteer von Runge entdeckt, und Laurent schied einen Körper auf Umwegen aus diesem ab, den er Phenylhydrat nannte; letztere beiden sind identisch, und anfangs hielt man sie auch für identisch mit dem Kreosot. Das gab Veranlassung zu einer Konfusion über das Verhältnis dieser Körper zu einander, die an Hartnäckigkeit ihresgleichen in der Wissenschaft sucht. Die hierdurch nötig gewordene genaue Durchforschung dieses Gebietes erwies sich aber schließlich als für die Chemie als Wissenschaft sehr förderlich.

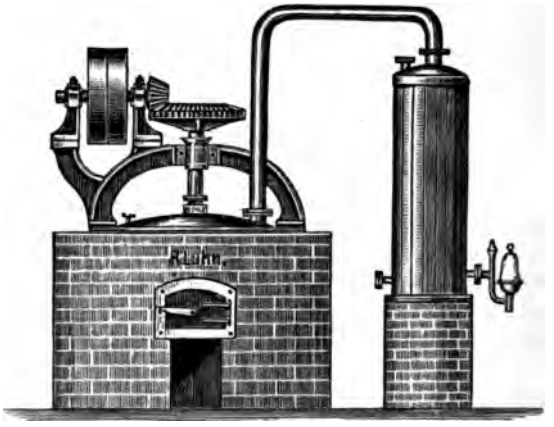
Unter Kreosot versteht man heutzutage wohl das Produkt, welches, wenn der Holzteer fraktioniert destilliert wird, um 200° herum übergeht. Aus ihm läßt sich auf höchst

kompliziertem Wege sodann das Guajacol, eine chemisch reine Substanz, abscheiden. Sie ist nach der jetzigen Nomenklatur zu bezeichnen als Brenzkatechinmethylester. Man hat dem Guajacol bei innerlichem Gebrauche sehr günstige Wirkungen bei der Lungentuberkulose nachgesagt und es wegen seines abscheulichen Geschmackes, und weil es den Appetit verdirbt, in Kapseln, Pillenform u. s. w. zu verabreichen gesucht. In neuerer Zeit hat man es deshalb auch in ihm chemisch sehr nahestehende Verbindungen verwandelt, namentlich es in Guajacolkarbonat übergeführt, welches geschmacklos ist und bei innerlichem Gebrauch den Magen nicht angreift, im Körper aber wieder in seine Bestandteile zerfällt, so daß hier das Guajacol trotzdem zur Wirkung kommt.

Die ganze Kreosottherapie, d. h. also die Behandlung von Kranken mit Kreosot — bevor reines Guajacol leicht zu haben war, hatte man Kreosot verabreicht — steht aber auf ziemlich schwachen Füßen, da sie, obgleich sie schon eine Reihe von Jahren in Anwendung ist, immer nur sehr unsichere Resultate gibt.

Da das Kreosot stark antiseptische Eigenschaften hat, dient es auch zum Imprägnieren mancher Gegenstände an Stelle des rohen Holzteers, der hierfür eine bedeutende Verwendung findet, z. B. für Eisenbahnschwellen, Telegraphenstangen, sowie als Anstrich für Flußschiffe u. s. w.

Bei der Menge von Holz, die jetzt destilliert wird, ist es nicht möglich, allen Teer auf die Art zu verwenden, und so wird er großenteils in den Fabriken als Feuerungsmaterial verbraucht, namentlich unter den Dampfkesseln verfeuert. Die bequemste Form der Verfeuerung flüssiger Heizmittel ist, wie die Erfahrung gelehrt hat, die, daß man sie aus einem Rohr ausfließen läßt, in dem ein zweites liegt, durch das Dampf strömt. Dieser zerstäubt sodann den ausfließenden Teer, der in dieser Form entzündet eine ausgezeichnete rauchlose Flamme gibt. Eine solche Feuerung bedarf fast keiner Aufsicht, bietet überhaupt viele Vorteile, da sie keine Asche liefert u. s. w., und werden wir sie bei der Verwertung der Petroleumrückstände abbilden.



474. Gewinnung des Kretons.

Die Destillation des Holzteers zur Kreosotgewinnung gestaltet sich etwa folgendermaßen. Nachdem er möglichst vom Holzessig, also wässerigen Bestandteilen, befreit ist, geht bei weiterem Destillieren erst das leichte Teeröl über. Dann tritt eine Pause in der Destillation ein, und jetzt kommt ein dickflüssiges gelbes bis rötliches Öl, das auf Wasser gegossen in ihm untersinkt, das schwere Teeröl, welches neben anderen Körpern das Kreosot enthält. Sind etwa 50 % Teer abdestilliert, so erstarrt die hinterbleibende Masse beim Erkalten zu einem schwarzen Pech, dem Schusterpech. Im ganzen destilliert sich aber Holzteer recht schlecht, solange man nicht zur Anwendung der Vakuumdestillation schreitet (s. S. 320), oder zur Unterstützung des Destillierens überhitzten Wasserdampf in die Destillierblase leitet, worüber jedoch Genaueres seitens der Fabrikanten bisher nicht bekannt gegeben worden ist.

Das Aceton. Wir erwähnten öfters das Aceton, welches sich bei der trockenen Destillation von Holz neben dem Holzgeist bildet. Seine Abscheidung aus diesem scheint nicht lohnend zu sein, sondern man stellt es lieber für sich gesondert aus essigsauren Salzen dar, indem man diese trocken erhitzt. So zerfällt der essigsaure Kalk bei dieser Behandlung in Aceton und kohlensauren Kalk, nämlich:

$$\begin{matrix} CH_3\cdot COO \\ CH_3\cdot COO \end{matrix}\!\!>\!Ca \;=\; \begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \end{matrix}\!\!>\!CO \;+\; CaCO_3$$

Essigsaurer Kalk — Aceton — Kohlensaurer Kalk.

Luhn liefert einen hierzu dienenden Apparat, in welchem der durch ein Rührwerk andauernd bewegte essigsaure Kalk auf direktem Feuer in einer Destillierblase erhitzt wird, deren Kühler zur Kondensation des sich bildenden Acetons dient. Nach Grouffilliers Patent soll man nicht essigsauren Kalk trocken, sondern lieber essigsaures Baryum mit überhitztem Wasserdampf destillieren, ein Vorschlag, über dessen praktische Vorteile noch keine Angaben vorliegen. Das erhaltene Rohaceton wird in einem Kolonnenapparat nach Art des Holzgeistes durch Rektifikation gereinigt.

Die Oxalsäure. Da die Oxalsäure heutzutage aus Sägespänen dargestellt wird, haben wir auch sie bei der chemischen Verwendung des Holzes zu betrachten. Schon bald nach 1600 wurde aus dem Safte des Sauerampfers und des Sauerklees (Oxalis acetosella) durch Eindampfen ein Salz abgeschieden, das den Namen Sauerkleesalz erhielt und für eine Art Weinstein gehalten wurde. Nachdem Scheele 1776 durch Kochen von Zucker mit Salpetersäure eine neue Säure erhalten hatte, fand er 1784, daß diese identisch mit der Säure aus dem Sauerkleesalz sei, woher die Oxalsäure noch heute im Publikum Zuckersäure benannt wird.

Da sie, abgesehen von ihren Verwendungen im Laboratorium, in der Woll- und Seidenfärberei gebraucht wird, zum Bleichen des Strohs dient und eine sehr wichtige Rolle als Ätzbeize in der Kattundruckerei spielt, ist ihre technische Darstellung seit langem aufgenommen worden. So wie Zucker liefern auch sehr viele andere organische Stoffe beim Kochen mit Salpetersäure Oxalsäure, aber nicht nur auf diesem Wege gehen sie in diese Säure über, sondern auch wenn man sie mit Ätzkali schmilzt, liefern sie oxalsaures Kali. Auf diesem technisch vorteilhaftesten Wege wird sie seit 1856 dargestellt, indem man von der Zeit ab die Salpetersäuremethode verließ. Die Arbeitsweise ist die folgende. Man löst die gleichen Gewichtsteile Kalihydrat und Natronhydrat in wenig Wasser und rührt in die Flüssigkeit Sägespäne, welches Gemisch unter beständigem Rühren 1 bis 2 Stunden auf 200° erhitzt wird; sodann erhöht man die Temperatur ein wenig und setzt das Erhitzen fort, bis die Masse staubtrocken geworden ist, was noch 4—6 Stunden erfordert. Jetzt enthält sie etwa 20% Oxalsäure, hauptsächlich in Form ihres Natriumsalzes. Wenig Wasser löst fast alles unverbrauchte Alkali, während oxalsaures Natron zurückbleibt. Dieses Salz wird sodann in viel reinem Wasser gelöst, aus welcher Lösung Kalkmilch den im Wasser unlöslichen oxalsauren Kalk fällt. Dieser seinerseits wiederum wird in verdünnte Schwefelsäure eingetragen, die mit dem Kalk Gips bildet, während nunmehr die Oxalsäure in der Lösung vorhanden ist. Sie kristallisiert nach dem Konzentrieren aus und wird durch Umkristallisieren gereinigt.

Einfuhr und Ausfuhr des Deutschen Reichs an Oxalsäure und oxalsaurem Kali in Mengen von 100 kg.

Jahr	Einfuhr	Ausfuhr	Jahr	Einfuhr	Ausfuhr
1891	1633	10107	1893	129	11 352
1892	429	11005	1894	177	19 721

Die künstlichen Düngemittel.

Wir wenden uns nunmehr zur Herstellung der künstlichen Düngemittel und kommen damit zur Besprechung von Erfolgen der Chemie, von denen man ohne jede Einschränkung sagen muß, daß sie mit zu dem Allergrößten gehören, das überhaupt geleistet worden ist, soweit es sich um praktische Vorteile handelt, die die Menschheit aus Arbeiten auf naturwissenschaftlichem Gebiete zieht. Erst sie haben das Wort wahr gemacht, daß der Mensch Herr der Erde ist, daß er den Boden nicht für den Ackerbau einfach ausnutzt, sondern ihn hegt und pflegt, wie jedes andere kostbare Gut, und ihn bei Kräften erhält, damit er nicht erschöpft eines Tages den Dienst versagt.

Alles was wir als Kultur bezeichnen, beruht doch auf der Voraussetzung, daß die betreffenden Völkerschaften das Nomadenleben aufgegeben, sich seßhaft gemacht und dem Ackerbau zugewendet haben. So ist also der Ackerbau die älteste Beschäftigung halbwegs zivilisierter Menschen, und so sollte man meinen, über diesen hätten schon unsere Vorfahren

lange sich klar sein müssen, zumal die Menschheit sich ununterbrochen mit ihm zu beschäftigen hat. Aber was wußte noch ein Agricola von seinem Zusammenhange, was Lavoisier, was Volta, was Berzelius.

Von Anbeginn aller Kultur hat es bis zur Mitte dieses Jahrhunderts gedauert, daß man sich über die Vorgänge beim Ackerbau klar geworden ist. Der Mann, welcher die endgültig richtigen Konsequenzen aus allen vorausgehenden Versuchen und aus seinen eigenen sie zu einem Abschluß bringenden genialen Arbeiten zog, ist Justus Liebig gewesen, obgleich er, der in der Stadt geboren und von Jugend auf der Chemie zugethan (s. S. 308), niemals als praktischer Landwirt thätig zu sein Gelegenheit gehabt hatte.

Bis zu der Zeit, in welcher er sich endgültig über die Vorgänge beim Pflanzenwuchs klar wurde, hatte man zur Kräftigung des Ackerbodens als Dünger nur die tierischen und menschlichen Exkremente benutzt, weil die Erfahrung gelehrt hatte, daß das Heraufbringen dieser auf die Felder ihre Fruchtbarkeit erhöht. Mit diesen haben wir es hier nicht zu thun, wir finden über sie das Nähere in Bd. IV über die Landwirtschaft, sondern mit den auf Grundlage der chemischen Kenntnisse jetzt in fast beliebigen Mengen zur Verfügung stehenden künstlichen Düngemitteln.

Die Annahme einer Lebenskraft, die als geheimnisvolles Etwas allem Lebenden zukommen und den Unterschied der organischen Welt von der anorganischen bedingen sollte, hatte zu der bis in die vierziger Jahre gültigen Vorstellung geführt, die Existenz alles tierischen und pflanzlichen Lebens beruhe auf dem Kreislaufe organischer also bereits belebt gewesener Stoffe. Die Menge dieser mußte daher eine ganz bestimmte, von Urbeginn an auf Erden vorhandene sein, sie ermöglichte die Existenz einer, wenn wir so sagen wollen, begrenzten Anzahl von Lebewesen, indem sie an und für sich nicht mehr zunehmen konnte, so daß es eben infolgedessen für diese eine obere Grenze gab.

Demgegenüber trat nun Liebig mit ganz anderen Anschauungen auf. Er erklärte gerade das Gegenteil für richtig, er erklärte: Die Nahrungsmittel der Pflanzen sind unorganische Substanzen, und die Zunahme der organischen Lebewesen ist infolgedessen nicht durch die Menge der vorhandenen organischen Stoffe begrenzt.

In der 7. Auflage seiner Agrikulturchemie drückt er dies so aus: Die Nahrungsmittel aller grünen Gewächse sind unorganische oder Mineralsubstanzen. Die Pflanze lebt von Kohlensäure, Ammoniak (Salpetersäure), Wasser, Phosphorsäure, Schwefelsäure, Kieselsäure, Kalk, Bittererde, Kali (Natron), Eisen; manche bedürfen Kochsalz.

Zwischen allen Bestandteilen der Erde, des Wassers und der Luft, welche teilnehmen an dem Leben der Pflanzen, zwischen allen Teilen der Pflanze und des Tieres und seiner Teile besteht ein Zusammenhang, so zwar, daß wenn in der ganzen Kette von Ursachen, welche den Übergang des unorganischen Stoffes zu einem Träger der organischen Thätigkeit vermitteln, ein einziger Ring fehlt, die Pflanze oder das Tier nicht sein kann.

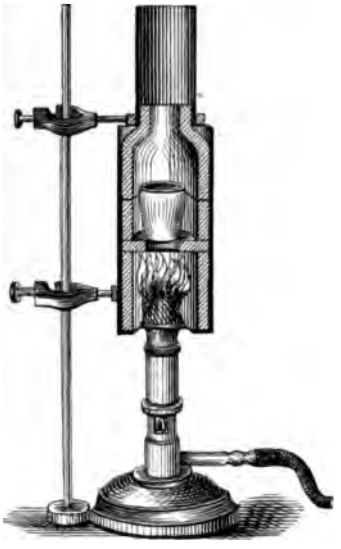
Auf Grundlage dieser Vorstellung ist nun unsere Zeit im stande, den Pflanzen die anorganischen Nährstoffe, deren sie an sich und entsprechend der Zusammensetzung des betreffenden Ackerbodens bedürfen, zuzuführen, so daß bei rationellem Verfahren eine Erschöpfung des Bodens durch den Ackerbau nicht mehr stattfinden kann. Vor dieser Erkenntnis ist aller Ackerbau halbwegs Raubbau gewesen, indem die Düngung mit Stallmist allein und der Fruchtwechsel mit eingeschobener Brache nicht zum Ersatz aller durch die Ernte dem Boden entzogenen unorganischen Stoffe ausreichen.

Die Richtigkeit der Annahme Liebigs wollen wir uns hier folgender Art, vom chemischen Standpunkte aus klar zu machen suchen, weil wir es für die späteren Betrachtungen nötig haben.

Ein Baum steht jahrhundertelang an seinem Platze, grünt und blüht, wächst, kurz zeigt alle Erscheinungen des Lebens, aber woher stammt seine Ernährung, seine Zunahme u. s. w. Den Kohlenstoff, dessen Gewinnung aus Holz in Form von Holzkohle wir im vorigen Kapitel so ausführlich kennen lernten, liefert ihm der Kohlensäuregehalt

der Luft. Des Baumes Blätter haben von Natur aus die merkwürdige Eigenschaft, die Kohlensäure so verwandeln zu können, daß er sich ihres Kohlenstoffgehalts für seine Zwecke bedienen kann. Was er an Wasser braucht, liefert der Regen, und als sich dann zeigte, daß er auch Stickstoffverbindungen enthält, lag die Annahme nahe, auch den hierzu nötigen Stickstoff liefert ihm das Luftmeer, jenes ungeheure Reservoir für dieses indifferente Gas.

Danach erscheint es denn nicht wunderbar, daß, wenn man z. B. Baumblätter — sagen wir im getrockneten Zustande — verbrennt, sie scheinbar wieder ganz verschwinden. Ihr Kohlenstoff wird wieder Kohlensäure, ihr Wasserstoffgehalt verbrennt zu Wasser, das verdunstet, ihr Stickstoff entweicht als solcher. Wenn wir aber der Verbrennung größere Aufmerksamkeit widmen, indem wir sie z. B. in einem Porzellan- oder Platintiegel vornehmen, den wir von außen erhitzen, bemerken wir das Zurückbleiben eines geringen unverbrennlichen Restes der Blätter. Wir haben den Tiegel, um die Hitze des Gasbrenners besser auszunutzen oder um eine höhere Temperatur zu erzielen, für die Veraschung, in einen kleinen Ofen aus feuerfestem Thon gesetzt, den wir mittels seines verschiebbaren Stativs in passender Höhe festhalten können.



475. Veraschung von Pflanzenteilen in einem Platintiegel.

So wie mit den Blättern, wird es uns mit jedem Teil einer Pflanze, eines Baumes gehen, immer wird beim Verbrennen ein geringer Rückstand, eine Asche, zurückbleiben.

Das wußte man natürlich schon lange vor Liebig, und Thaer, der größte Reformator der Landwirtschaft vor Liebig, sah in dieser Asche zu Anfang des Jahrhunderts noch nichts weiter als zufällige Bestandteile der Pflanzen. In der Auffassung wurde man noch durch Versuche mancherlei Art unterstützt; so zeigte Sauſſure, daß Pflanzen, die man in metallhaltigen Lösungen sich entwickeln läßt, ein wenig von diesen aufnehmen. Weshalb sollten sie da, die gezwungenermaßen die ihnen ganz fremden Metalle aufnehmen, nicht auch zufällig von den im Boden vorhandenen mineralischen Bestandteilen etwas assimilieren.

Aber die Ausbildung der Methoden, die Pflanzen in destilliertem Wasser oder in ausgeglühtem reinen Sande zu ziehen, welchen beiden man die für die Pflanzen nötigen Mineralstoffe zusetzte, zeigte dann endgültig die Richtigkeit der Anschauung Liebigs. Nur wenn man einem dieser beiden völlig indifferenten Nährböden alle die Salze, welche die Analyse der Asche der betreffenden Versuchspflanze ergeben hatte, zufügte und den ausgeglühten Sand genügend feucht hielt, bekam man vollkommen ausgebildete Pflanzen. Als ganz unentbehrlich erwiesen sich hierbei Kali, Phosphorsäure, Stickstoff, Kalk, Magnesia, Eisen und Schwefelsäure, während hinsichtlich anderer, wie Natron, Kieselsäure und Chlor, die Frage nicht so endgültig entschieden werden konnte.

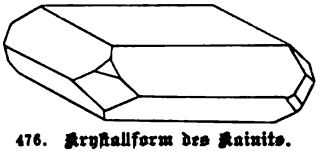
Erwägen wir nun die Verhältnisse hinsichtlich der genannten Stoffe, so sind, abgesehen von den drei ersten, also von Kali, Phosphorsäure und Stickstoff in Form irgend welcher Verbindungen, die anderen in jedem Ackerboden, wie die Analysen ergeben haben, in solcher Menge enthalten, daß von einem Mangel an ihnen wohl, von den allerseltensten Ausnahmefällen abgesehen, nie die Rede sein wird. Daher kommt es, daß sich die Industrie der künstlichen Düngemittel nur mit der Lieferung der drei erstgenannten an die Landwirtschaft beschäftigt. Von allen dreien stehen heute unerschöpfliche Quellen zu Gebote. Die Quellen liefern sie aber nicht in dem Zustande, wie sie die Landwirtschaft braucht, und Aufgabe dieser Industrie ist es daher, sie in einen für diese brauchbaren Zustand überzuführen.

Darstellung der Kalisalze für Düngezwecke.

Von den in Staßfurt (s. S. 331), welches der preußischen Regierung gehört, und im angrenzenden Leopoldshall, welches anhaltinisch ist, nebst Umgegend gewonnenen Kalisalzen finden zwei hauptsächlich in der Landwirtschaft Verwendung oder Verwertung. Es sind der Kainit und der Carnallit.

Wenn wir zuerst den Kainit nennen, so geschieht es nicht, weil er der wichtigere ist, sondern weil bei ihm, wenn er in der Landwirtschaft Verwendung finden soll, nur das Feinmahlen nötig ist, er ist infolgedessen außerordentlich billig. Sein Verbrauch in der Landwirtschaft betrug in Tonnen zu 1000 kg z. B.

1880	23770	Tonnen.
1885	50870	„
1889	150340	„



476. Kryſtallform des Kainits.

Der Kainit in chemisch reinem Zustande setzt sich zusammen aus 1 Molekül Kaliumsulfat, 1 Molekül Magnesiumsulfat, 1 Molekül Magnesiumchlorid und 6 Molekülen Wasser, seine Formel ist daher $K_2SO_4 + MgSO_4 + MgCl_2 + 6H_2O$.

Im Bergwerk findet er sich aber meist sehr stark mit Kochsalz durchsetzt, und so weichen die Analysen des Handelsproduktes bedeutend von der des chemisch reinen Körpers ab.

	Zusammensetzung des:		Handelsware	
	chemisch reinen Kainits	(calcinierter natürlicher Kainit)		calcinierte Kalimagnesia (gereinigter Kainit)
Kaliumsulfat	36,31 %	23,36 %	25,72 %	52 %
Magnesiumsulfat	25,24 %	13,47 %	12,97 %	36 %
Magnesiumchlorid	18,95 %	13,40 %	14,76 %	—
Wasser	19,47 %	13,40 %	12,40 %	11 %
Natriumchlorid (Kochsalz)	—	34,70 %	29,10 %	1 %
Calciumsulfat (Gips)	—	1,48 %	4,10 %	—
Unlösliches	—	1,08 %	1,02 %	—

Mit der Verarbeitung des Kainits auf reines Kaliumsulfat hat man sich viele vergebliche Mühe gegeben, indem technisch lohnende Verfahren nicht aufzufinden gewesen sind. Dagegen gelingt es, ihn durch Umkryſtallisieren aus Wasser in ein ziemlich reines Doppelsalz von Kalium-Magnesiumsulfat überzuführen, das 50 % Kaliumsulfat enthält und fast frei von Chlorverbindungen ist. Auch dieses Salz findet viel Verwendung in der Landwirtschaft (s. die Statistik am Schlusse), weil in ihr die großen Mengen Chlormagnesium und Chlornatrium des Rohsalzes bei manchen Kulturen sich als störend erweisen.

Der Carnallit. Der Carnallit ist es, dem Staßfurt seinen Weltruf verdankt, denn er bildet die eigentliche Grundlage der Industrien jener Gegend. Seinen Namen führt er nach Herrn von Carnall, der sich seiner Zeit um den Aufschluß des Bergwerkes sehr verdient gemacht hat, und dem zu Ehren der Berliner Professor Rose dem Mineral den Namen beigelegt hat. Die Carnallitregion im Bergwerk ist zwischen 25 und 42 m stark und besteht durchschnittlich aus:

Carnallit	55 %
Steinsalz	25 %
Sonstige namentlich Magnesia haltige Mineralien	20 %

Der Carnallit wiederum seinerseits ist im kryſtallisierten Zustande zusammengesetzt aus 1 Molekül Chlorkalium, 1 Molekül Chlormagnesium und 6 Molekülen Wasser. Seine Formel ist also $KCl + MgCl_2 + 6H_2O$.

Der von der Grube gelieferte Rohcarnallit enthält durchschnittlich 14—16 % Chlorkalium, und nun ist es Aufgabe der Fabrikanten, das Chlorkalium dem Rohmaterial möglichst vollständig zu entziehen und es seinerseits in einer so reinen Form zu gewinnen, daß es in der Landwirtschaft und zu sonstigen Zwecken seine Verwendung finden kann.

Zu seiner Reinigung wird das Rohmaterial mit verhältnismäßig wenig heißem Wasser in großen Auslaugebottichen mit falschem Boden übergossen. In Lösung gehen namentlich Chlorkalium sowie Chlormagnesium, während Kochsalz, wie wir schon öfter erfahren haben, ja in heißem Wasser kaum löslicher als in kaltem ist. Läßt man die Lösung hierauf erkalten, so scheidet sie Chlorkalium ab, während wenig Kochsalz und Chlormagnesium mit auskryſtallisieren, dies Chlorkalium kommt als 80prozentige Ware in den Handel. Dampft man die übrigbleibende Mutterlauge ein, so kryſtallisiert aus ihr jetzt wieder künstlicher recht reiner Carnallit, also das Doppelsalz von Chlorkalium und Chlormagnesium aus. Dieser liefert bei nochmaligem Umkryſtallisieren sehr reines Chlorkalium von 90—98 %. Die Mutterlauge von ihm enthält noch 1—2 % Chlorkalium nebst sehr viel Chlormagnesium. Man läßt sie größtenteils als wertlos weglaufen. Eine geringe Menge von ihr dient zur Gewinnung von Brom, sowie von Chlormagnesium, für welch letzteres es nicht viel Absatz gibt. Der in den Auflösekesseln bleibende Rückstand ist zumeist Kieserit (schwefelsaure Magnesia) und Kochsalz. Die Gewinnung des Broms aus den Mutterlaugen kennen wir bereits (s. S. 430), und ihre Verarbeitung auf Chlormagnesium findet so statt, daß man sie weiter stark eindampft, bis der Punkt eintritt, auf dem sie beim Erkalten zu einer wachsähnlichen Masse erstarrt. Diese ist dann Verkaufsware. Sie enthält etwa 40 % Chlormagnesium. Nach dieser allgemeinen Übersicht über die Verarbeitung des Rohcarnallits gehen wir jetzt zur Durchführung der Operationen im großen über.

Der Rohcarnallit wird, um auf dem angegebenen Wege zu Gute gemacht zu werden, also in große Auflösegefäße gebracht, die in der oberen Etage der Fabrik stehen. Sie fassen 3000—6000 l Wasser, und man gibt in jedes 3000—5000 kg Rohsalz, welche auf einem falschen Boden zu liegen kommen, ähnlich wie wir es in der Blutlaugensalzindustrie (s. S. 340) kennen lernten. Durch Einleiten von Dampf wird auch hier das Erhitzen besorgt. In neuerer Zeit bringt man am Boden der Gefäße verschließbare größere Öffnungen an, um das Entfernen des Rückstandes leichter bewerkstelligen zu können.

Solange man im Anfangsstadium der Fabrikation, also in den sechziger Jahren, für das Rohsalz als Lösungsmittel Wasser verwandte, schied sich aus der zweiten Mutterlauge ein Salz aus, welches zur einen Hälfte aus Chlorkalium, zur anderen aus Chlornatrium bestand, das durch Umkryſtallisieren für sich nur auf 70 % Chlorkalium gebracht werden konnte, während heute zum mindesten 80prozentiges verlangt wird. Als man dann später als Lösungsflüssigkeit statt reinen Wassers stark mit Mutterlauge, welche doch sehr reich an Chlormagnesium ist, versetztes Wasser nahm, schied sich aus der zweiten Mutterlauge der künstliche Carnallit, das Doppelsalz von Chlorkalium und Chlormagnesium, wie oben angegeben, aus, das leicht bei erneutem Umkryſtallisieren hochprozentiges Chlorkalium liefert. So ist denn das Chlormagnesium für die Verarbeitung des Carnallits auf hochprozentiges Chlorkalium unentbehrlich und, selbst fast wertlos, von höchstem Werte für die Durchführung der Chlorkaliumgewinnung in Staßfurt.

Alles kommt sonach hier, wie so oft in der chemischen Industrie, auf die verschiedene Löslichkeit von Salzen in heißem und kaltem Wasser, oder in heißen und kalten Salzlösungen an, und so wollen wir an dieser Stelle einmal das Verhalten der verschiedenen für die Chlorkaliumfabrikation in Betracht kommenden, in einer heißen Flüssigkeit nebeneinander vorhandenen Salze zahlenmäßig belegen, indem wir eine Tabelle von Becker hierfür benutzen. Die heiße Lauge, welche zum Kryſtallisieren hingestellt wurde, enthielt:

Chlorkalium	9,96 %
Chlornatrium	2,48 %
Chlormagnesium	19,67 %
Schwefelsaure Magnesia . .	4,26 %
Wasser	63,63 %

und die Ausscheidung der Salze fand in folgender Weise statt:

Bei einer Temperatur von Celsiusgraden	schieden sich Salzgemische von folgender Zusammensetzung ab				Die abgeschiedenen Salze enthielten an Wasser
	Chlorkalium	Chlornatrium	Chlormagnesium	Schwefelsaure Magnesia	
108—100	3,15	92,78	0,51	0,69	3,95
100—90	1,35	94,84	0,78	0,69	2,24
90—80	1,63	95,61	0,83	0,57	2,65
80—70	0,86	96,64	0,56	0,43	2,25
70—60	3,70	92,70	0,76	0,63	2,68
60—50	25,16	70,56	0,12	0,72	3,04
50—40	72,01	23,49	0,32	0,50	3,11
40—30	75,75	19,07	0,87	0,42	3,76
30—20	74,51	21,05	0,80	0,89	2,15
20—10	25,77	8,62	1,42	29,46	34,62
10—0	11,91	7,18	3,34	36,77	40,93

Aus der gleichen Lauge kryſtalliſieren alſo je nach der Temperatur die verſchiedenſten Salze und Salzgemiſche. Zwiſchen 80 und 70° liefert ſie faſt reines Kochſalz, welches an Verunreinigungen von der Feuchtigkeit abgeſehen, nur 1,85 % enthält, zwiſchen 30 und 20° liefert ſie aber ein Kochſalz, welches an Verunreinigungen 66,7 % enthält. Während in dem zwiſchen 80 und 70° abgeſchiedenen Salzgemiſch nur 0,86 % Chlorkalium waren, enthielt das zwiſchen 40 und 30° Auskryſtgalliſierte 75,75 % von ihm.

Die im Auflöſekeſſel aus dem Rohcarnallit erhaltene Flüſſigkeit läßt man etwa eine halbe Stunde in dieſem, damit ſie ſich klärt, worauf man ſie in Kryſtalliſiergefäße laufen läßt.

Der Rückſtand im Keſſel beträgt zwiſchen 30 und 50 % des Rohmaterials, er wird noch einmal mit wenig Waſſer ausgekocht, um ihm ſein Chlorkalium möglichſt zu entziehen. Die erhaltene zweite Lauge wird mit den Hauptlaugen zuſammen verarbeitet. In welcher Weiſe ſich das Chlorkalium in den beiden Flüſſigkeiten und dem Rückſtand etwa verteilt, zeigen folgende Zahlen.

	Erſte Lauge	Zweite Lauge	Rückſtand
Chlorkalium	12,07	7,46	2,2 %
Chlornatrium	2,59	11,01	54,8 %
Chlormagneſium	21,05	11,86	2,5 %
Schwefelſaure Magneſia	2,45	6,11	22,9 %
Waſſer	61,84	63,56	10,8 %
Gips und Unlösliches	—	—	6,8 %

Die Kryſtalliſiergefäße, in denen die Hauptlauge erkaltet, werden recht groß gewählt, ſie ſind aus ſchmiedeeiſernen Platten zuſammengeſetzt. Je nach der Außentemperatur erfordert die nötige Abkühlung zwei bis drei Tage, worauf man die Mutterlauge von den Kryſtallen abfließen läßt. Das auskryſtalliſierte Chlorkalium wird nun vermittelſt „Decken“ hochprozentig gemacht, ähnlich wie wir es beim Kaliſalpeter kennen lernten. Zu dem Zwecke verfährt man hier ſo, daß man das Salz in große Bottiche ſchüttet, die bald aus Eiſen, bald aus Holz hergeſtellt und in ihrem Boden mit Zapflöchern verſehen ſind. In ihnen übergießt man es mit Waſſer, welches nach zweiſtündigem Stehen abgelaſſen wird. Deckt man auf dieſe Art das Salz zweimal, ſo hat es nach dem Trocknen 85—90 %, und miſcht man dieſes mit einer nur einmal gedeckten Portion, ſo bekommt man ein Durchſchnittschlorkalium von 80—86 %, welches die hauptſächlichſte Handelsware iſt. Die Anreicherung des Chlorkaliums bei dieſem Verfahren beruht alſo darauf, daß Chlorkalium ſich in kaltem Waſſer wenig löſt, Chlornatrium in dieſem faſt ſo löslich wie in heißem iſt, während das Waſſer von der in geringer Menge mit auskryſtalliſierten und daher dem Chlorkalium anhaftenden ſchwefelſauren Magneſia und dem Chlormagneſium den größten Teil gleichfalls aufnimmt.

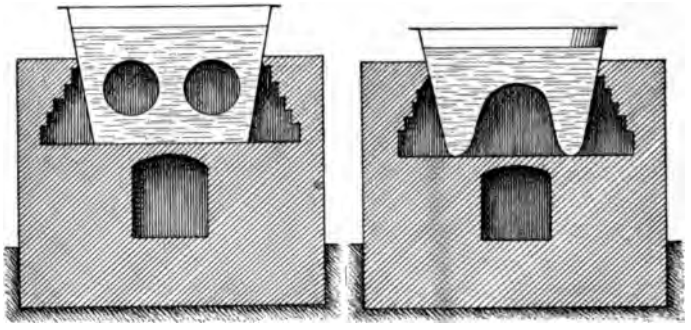
Die erſte Mutterlauge vom auskryſtalliſierten Chlorkalium muß nun eingedampft werden, und dies geſchieht in offenen Pfannen, bei denen man durch die ihnen gegebene Geſtalt und die Art ihrer Einmauerung eine möglichſte Ausnutzung des Brennmaterials erſtrebt. Daher ſchreibt ſich die Form der Sattelpfannen, ſowie die der mit eingebauten Röhren, welche letzteren den Flammrohrdampfkeſſeln nachgebildet ſind. Auch ſehen wir

auf der Abbildung, wie mit Hilfe der passend angelegten Züge das Feuer gezwungen ist, fast die ganze Metallfläche der Pfannen zu umspülen.

Um die nötige Konzentration, bei der der künstliche Carnallit hernach beim Erkalten auskryställisiert, zu erreichen, muß die Mutterlauge auf ein Drittel ihres Volumens gebracht werden. Während dieses starken Eindampfens scheiden sich nun fortwährend Salze aus, die aber den Prozeß nicht stören, man erhält an ihnen etwa 10 % der in Arbeit genommenen Lauge. Dieses sogenannte Bühnensalz zeigt folgende Zusammensetzung

Chlorkalium	6,8 %	Schwefelsaure Magnesia . .	7,2 %
Chlornatrium	66,0 %	Wasser	10,0 %
Chlormagnesium	10,0 %		

Ein lohnendes Verfahren zur Reingewinnung des einen oder anderen der in ihm enthaltenen Salze ist nicht bekannt, und es dient ohne weiteres zu Düngungszwecken. Die von ihm getrennte Lauge bleibt etwa drei Tage in ihren Kryställisiergefäßen, in welcher Zeit der künstliche Carnallit auskryställisiert. Die über diesem stehende Mutterlauge ist die Endlauge der Fabrikation, und man läßt sie zum bei weitem größten Teil als wertlos wegfließen; sie besteht aus durchschnittlich



477. Abdampfpfannen für die Mutterlauge.

Chlorkalium	1,34 %	Schwefelsaure Magnesia . .	2,61 %
Chlornatrium	0,56 %	Wasser	68,29 %
Chlormagnesium	27,20 %		

Die Mengen, die von ihr in die Flüsse laufen und schließlich in die Elbe gelangen, sind so groß, daß sie noch bei Hamburg den Chlorgehalt des Wassers beeinflussen. Im Sommer bei niedrigem Wasserstand ist er dort bedeutend höher als im Herbst und Winter, wo der größere Wasserreichtum der Elbe ihn stärker zu verdünnen vermag.

Für den künstlichen Carnallit als solchen gibt es keine Verwendung, und so wird er sogleich wieder aufgelöst. Als Löseflüssigkeit dient ein Gemisch von drei Teilen Wasser und einem Teil Mutterlauge, und zwar löst man unter Einleiten von Dampf in 24000 Litern etwa 1150 kg von ihm. Nach drei- bis viertägigem Erkalten ist Chlorkalium auskryställisiert, welches nach dem Decken und Trocknen einen Gehalt von 98 % zeigt.

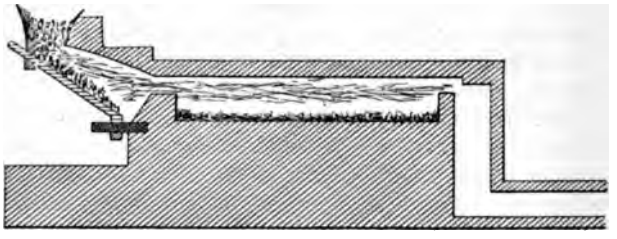
Nur geringe Mengen von Chlorkalium werden durch Liegen an der Luft möglichst getrocknet. Der größte Teil wird calciniert, also im Flammofen durch direktes Feuer entwässert, oder durch heißen Dampf von seiner Feuchtigkeit befreit. Zur Calcination dienen sehr lange Flammöfen, die, um billiges Brennmaterial verwerten zu können, mit Treppenrosten ausgestattet sind. Die Feuerbrücke trennt das Chlorkalium von dem Brennmaterial und verhütet dessen Vermischen mit der Asche, während das Hineingelangen von Flugasche durch Regulieren des Zuges möglichst zu vermeiden ist. Die Länge des Ofens ist so bedeutend, daß er mit mehreren Arbeitsöffnungen versehen ist, von denen aus die Arbeiter das mit Schaufeln hineingeworfene Chlorkalium vermittelst Harken gleichmäßig auszubreiten suchen, worauf sie es von Zeit zu Zeit mit Spateln umwenden. 350 kg Salz calciniert man etwa in einer Stunde, so daß die Tagesleistung eines Ofens sich auf 8000 kg beläuft.

Zum Trocknen mit Dampf bedient man sich der Darren von folgender Einrichtung. Eine runde Eisenplatte wird durch Dampf geheizt und auf sie das feuchte Chlorkalium geworfen, welches eine mechanische Rührvorrichtung fortwährend wendet. Sie liefern 50—60 kg Salz in der Stunde, welches weißer als das aus den Calcinieröfen ist, sind aber im Betriebe teurer.

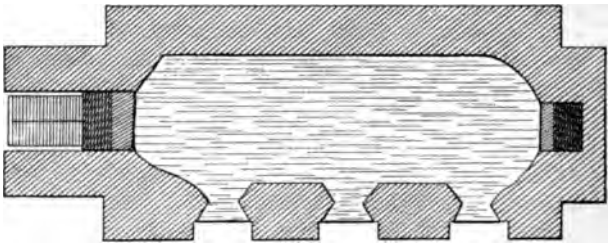
Fertiggestelltes Chlorkalium zeigt, wie es in den Handel kommt, etwa folgende Zusammensetzung:

Chlorkalium . .	86,41—98,41 %,
Chlornatrium .	12,05— 0,25 „

Was an 100 % noch fehlt, besteht aus kleinen Mengen Chlormagnesium, schwefelsaurer Magnesia, Gips, Unlöslichem und Wasser. Es wird in Säcke aus Jute verpackt, die 90 kg enthalten. Seit dem Jahre 1883 geschieht der Verkauf durch ein Syndikat, dem alle Fabriken jener Gegend angehören. Dieses Syndikat paßt die Produktion dem Bedarf der Welt an, indem es ihre Höhe bestimmt, und dadurch ist den Fabriken ein ruhiges und lohnendes Arbeiten gesichert, was bis zur Gründung dieser Vereinigung infolge der gegenseitigen Konkurrenz häufig nicht der Fall war. So bestimmte es im Oktober 1896 den Preis für 80prozentiges Chlorkalium auf Mark 14,75, für 98prozentiges mit einem verbürgten Höchstgehalt von ½ % Kochsalz auf Mark 15,25, wobei die Prozentangaben den Mindestgehalt an Chlorkalium bedeuten, die Preisangaben für 100 kg von 80 % gelten. Im Jahre 1894 betrug die Ausfuhr an Chlorkalium 939130 Doppelzentner zu 100 kg im Werte von 13477000 Mark.



478. Flammofen. Längsschnitt.



479. Querschnitt des Flammofens.

Folgenden ausführlichen Bericht des Verkaufssyndikats wollen wir hier wiedergeben. Im Jahre 1890 betrugen die Ablieferungen in 100 kg 1265526 Chlorkalium als 80prozentig gerechnet, 129472 schwefelsaures Kali zu 90 %, 108302 calcinierte schwefelsaure Kalimagnesia zu 48 %, 9073 kryſtallisierte schwefelsaure Kalimagnesia zu 40 %, 18331 calciniertes Düngesalz, 320048 Kieserit.

Vom Chlorkalium entfallen in 100 kg auf Deutschland 406126, Österreich und Schweiz 25400, England 138000, Schottland 91000, Frankreich 152000, Belgien und Holland 92000, Italien 44000, Nordamerika 296000, Skandinavien und Dänemark 5000, Rußland 7800, Spanien und außereuropäische Länder 8200. Diese Mengen dürften in nachstehender Weise Verwendung gefunden haben:

In Deutschland zur Darstellung von Pottasche (s. S. 332) 165500, Salpeter 203500, chromsaurem Kali, Alaun u. s. w. 23000, zu landwirtschaftlichen Zwecken 14126. Im Auslande zur Darstellung von Pottasche 12650, von Salpeter 277200, von chromsaurem Kali 95200, von chlorsaurem Kali und Alaun u. s. w. 114800, zu landwirtschaftlichen Zwecken 409500.

Deutschland nimmt, was der Bedarf an Chlorkalium betrifft, die erste Stelle unter allen Absatzgebieten ein, obwohl ein Rückgang im Verbrauch stattgefunden hat. Die Ursache dieses Ausfalls ist in der Salpeter- und der Pottascheindustrie zu suchen. Der Ausfall bei der Salpeterindustrie muß teils auf die Einführung von rauchlosem Pulver bei den Armeen, teils auf eine immer weiter ausgedehnte Verwendung von Dynamit und anderen Sprengstoffen in Bergwerken zurückgeführt werden, wodurch dem aus Kalisalpeter hergestellten Pulver überall eine scharfe Konkurrenz bereitet worden ist.

Von den 129472 obengenannten Meterzentnern schwefelsaurem Kali haben 61300 für landwirtschaftliche Zwecke Verwendung gefunden, die 108302 Meterzentner calcinierte Kalimagnesia hat ausschließlich die Landwirtschaft verbraucht.

Im Jahre 1896 betrug die Ausfuhr an Chlormagnesium 12897 t.

Die Phosphate als Düngemittel.

Als Rohmaterial zur Gewinnung von Phosphorsäure in einer für die Landwirtschaft brauchbaren Form dienen jetzt hauptsächlich erstens der Phosphorit. Es ist das ein an vielen Orten der Erde sich findendes Mineral, das aus phosphorsaurem Kalk besteht, dem bald mehr bald weniger fremde Substanzen beigemischt sind. Zweitens das Thomasphosphatmehl, drittens die Knochen, viertens der Guano, dessen Vorräte aber ziemlich aufgebraucht sind. Wir haben hier die Rohmaterialien der Menge nach, in welcher sie in der Düngerindustrie verbraucht werden, aufgezählt, der Zeit ihrer Anwendung nach müssen die Knochen als erste genannt werden.

Die Knochen. Die Verwendung dieser für die Fabrikation des Phosphors haben wir bereits kennen gelernt (s. S. 486). Wir wollen nun hier alle die Zwecke besprechen, denen sie außerdem heute dienen. Es ist sehr merkwürdig, daß schon im Jahre 1774 der Engländer James Hunter eine Arbeit veröffentlichte, in welcher er auf Grund seiner Versuche das Knochenschrot als vortreffliches Düngemittel empfahl. Seine Versuche sind richtig, nur seine Folgerungen waren falsch. Der in den Knochen enthaltene phosphorsaure Kalk ist unverarbeitet gar kein brauchbares Düngemittel, wir werden sehr bald sehen warum, und das, was im Knochenschrot düngend wirkt, ist eigentlich nur der Leim wegen seines hohen Gehalts an Stickstoff. So konnten denn auf Grund dieser irrtümlichen Voraussetzungen auch keine großen Erfolge erzielt werden, und die Knochendüngung kam zu keiner größeren Bedeutung.

Wenn auch nicht als Düngemittel, so wurden die Knochen aber viel für andere Zwecke außer der Phosphorherstellung verbraucht. Die zweite Verwendung besteht in der Herstellung von Beinschwarz, auch Spodium genannt, aus ihnen. Knochen an der Luft verbrannt, hinterlassen eine weiße Asche, indem alles Organische, alles Kohlenstoffhaltige völlig verbrennt. Glüht man sie aber in geschlossenen Gefäßen (Töpfen z. B.), dann brennen sie sich nicht weiß, sondern wenn auch alles Flüchtige ausgetrieben wird, so bleibt doch viel Kohle, die sich bei Zersetzung des Leimes und des Fettes abscheidet, aus Luftmangel unverbrannt, und der Rückstand sieht schwarz aus. Solche Knochenkohle hat bekanntlich stark entfärbende Kraft. So entfärbte man mit ihr in den Zuckerfabriken die Zuckersäfte (s. Band IV), was allein eine ungeheure Menge beanspruchte. Doch ist sie in den Rohzuckerfabriken jetzt durch die schweflige Säure (s. S. 367) ersetzt und spielt nur noch eine Rolle in den Zuckerraffinerien, so daß der Bedarf an Spodium sehr zurückgegangen ist.

In fein gemahlenem Zustande dient das Spodium mit passenden Schmiermitteln verrieben als Stiefelwichse.

In den vierziger Jahren begann dann der englische Fabrikant Blackhall die Knochen zu dämpfen, weil gedämpfte Knochen sich hernach weit leichter zu Knochenschrot für die Beinschwarzfabrikation stampfen lassen. Er kochte sie zu dem Zweck ungefähr zwei Stunden lang unter zwei Atmosphären Überdruck. Bei diesem Verfahren liefern sie etwa $2\frac{1}{2}$ % Fett, welches hernach auf der Flüssigkeit schwimmt. Da nun dieses Fett sich ausgezeichnet z. B. in der Seifenfabrikation (siehe dort) verwerten läßt, wurden sehr bald alle Knochen auf diesem Wege ausgekocht, doch kommt man nach dieser Methode kaum über 3% Ausbeute. Das Auskochen hat dann sein Ende gefunden, als mit dem Jahre 1885 die Benzinentfettung aufkam. Den ersten brauchbaren Apparat hierfür konstruierte Seltsam, später kam auch der von Richters zu großer Verbreitung. In ihnen entzieht siedendes Benzin den Knochen das Fett, welches nach dessen Abdestillieren hinterbleibt. Die erste europäische Fabrik für dieses Verfahren wurde in Forchheim gebaut. Diese Art der Entfettung hat den Vorteil, daß die Fettausbeute bis 9 % ansteigt. Das Knochenschrot liefert hernach ein ausgezeichnetes kerniges Spodium, und der Knochengries, wenn er auf Leim verarbeitet wird (wir haben diese Fabrikation S. 398 kennen gelernt), einen vortrefflichen reinen und durchsichtigen Leim.

Aber trotz dieses Mehrgewinnes an Fett war der Verkaufspreis für das aus dem entfetteten Material dargestellte Knochenschrot zu gering gegenüber den Rohknochen-

preisen, um das Verfahren sehr lohnend zu gestalten, was wohl mit bedingt wurde durch die Unmöglichkeit, das ehemals gut bezahlte Knochenschrot abzusetzen, indem, wie erwähnt, dieses Ausgangsmaterial für die Spodiumfabrikation nur noch verhältnismäßig wenig gebraucht wird. Die entfetteten Knochen mußten daher ausschließlich, um als Düngemittel Absatz zu finden, auf Mehl verarbeitet werden, und dieses konnte den Kampf mit der Thomasschlacke, dem Thomasphosphatmehl (s. weiterhin) und dem Chilisalpeter als Stickstoffträger wiederum nur schwer bestehen.

Der Leim enthält zwar 17 % Stickstoff, dieser stellte sich aber im Knochenmehl teurer als im Chilisalpeter, und so ist es vorteilhafter, ihn aus den Knochen als solchen herauszuziehen (zumal gegenwärtig [1897], wo geradezu eine Art Mangel an Leim sich geltend macht), was schon vor Jahren die meisten Knochenmehlfabriken veranlaßte, zur Leimgewinnung überzugehen.

Das so erhaltene entleimte Knochenmehl ist aber nun als Düngemittel weit geringwertiger, da es nur noch 1—1½ % Stickstoff, wenn auch 28—30 % Phosphorsäure enthält, es geht daher in die Superphosphatfabriken, welche es mit Schwefelsäure aufschließen und so erst seinen Phosphatgehalt in Düngemittel verwandeln.

Das jetzt im Handel vorkommende sogenannte Normalknochenmehl mit 4 % Stickstoff und etwa 20 % Phosphorsäure ist selten reines Knochenmehl, sondern wird zumeist durch Vermischen des entleimten Mehls mit an Stickstoff reichen Stoffen, wie Hornmehl, gepulverten Sehnen, Fleisch u. dergl. dargestellt.

Wir haben hier einmal wieder so recht ein Beispiel der fortschreitenden Ausnutzung eines Rohmaterials. Noch vor dreißig Jahren wurden die Knochen verbrannt, ihr Fett und ihr Leim dabei zerstört, nur um den Phosphor zu gewinnen, oder sie wurden auf Beinschwarz verarbeitet, und ihrem Fettgehalt wurde kaum Beachtung geschenkt. Immer konnte der Bedarf an Knochen für diese beiden Fabrikationen nur ein beschränkter sein. Heute aber findet jedes Quantum Verwendung, indem man sein Fett und seinen Leim gewinnt und seinen Phosphorsäuregehalt, soweit er nicht für die Phosphorfabrikation gebraucht wird, dem Landwirt als Düngemittel zur Verfügung stellt. So hat ein Menschenalter hingereicht, um praktische Methoden zur Gewinnung aller wertvollen Bestandteile der Knochen auszubilden. Wenn auch die Methoden an sich noch verbesserungsfähig sind, das, was die Knochen Brauchbares enthalten, wird aus ihnen nunmehr herausgeholt, und in der Beziehung ist hier das Gebiet der Erfindungen wohl als abgeschlossen zu betrachten.

Zur Fabrikation von Düngemitteln dient also von den in Europa zur Verarbeitung gelangenden Knochen heute nur noch ihr Gehalt an phosphorsaurem Kalk. Zweitens kommt aber noch jene Knochenasche für diesen Zweck in Betracht, welche schiffsladungsweise aus Südamerika importiert wird. Dort, wo eine so große Menge von Rindern zur Verwertung ihres Fleisches in Form von Fleischextrakt oder wohl gar fast nur der Häute wegen geschlachtet wird, dienen in vielen Fabriken die Knochen als Brennmaterial, welches dann diese Knochenasche hinterläßt.

In diesem Material sowohl, wie in den natürlich vorkommenden Phosphaten, ist nun der phosphorsaure Kalk stets als in Wasser unlöslicher dreibasisch phosphorsaurer Kalk vorhanden. Wir wissen wiederum bereits von der Phosphorfabrikation her, daß er durch Schwefelsäure in einbasisch phosphorsauren Kalk übergeführt werden kann. Die Ausführung dieser Operation ist eine Aufgabe der Superphosphatfabriken, die den Landwirten die Phosphorsäuredüngemittel liefern. Man nennt ihr Produkt Superphosphat, weil die Phosphorsäure in ihm höher steht, wertvoller ist als im Naturprodukt, das als Ausgangsmaterial dient.

Und welches ist der Grund hierfür? Nun, es ist folgender. Die für die Existenz der Pflanzen, wie wir wissen, unumgänglich notwendige Aufnahme von Phosphorsäure erfolgt durch die Wurzeln, welche sie oder Verbindungen von ihr auffaugen. Diese müssen dazu natürlich im gelösten Zustande im Boden vorhanden sein. Auch die in jedem Ackerboden vorhandene Phosphorsäure findet sich nun fast ganz als unlöslicher dreibasisch phosphorsaurer Kalk, ihre Überführung in einbasischen, also wasserlöslichen, und damit

erst für die Pflanzennahrung brauchbaren phosphorsauren Kalk, ihre „Aufschließung" bewirkt in ihm ganz allmählich die Natur. Die im Boden zirkulierende Kohlensäure in Verein mit der Feuchtigkeit greift nämlich die Phosphate in aufschließendem Sinne an, nebenbei bemerkt ebenso die im Boden anwesenden, an und für sich in kaum löslicher Form vorhandenen kalihaltigen Mineralien, welche, wie wir zu sagen pflegen, verwittern. Wird daher ein Feld ein Jahr lang nicht beackert, also brachliegen gelassen, so wird, da nichts abgeerntet wurde, im nächsten Jahre ein ziemlicher Vorrat gelöster Phosphate, Kaliverbindungen u. s. w., der dem Pflanzenwuchs sehr zuträglich sein muß, vorhanden sein, woraus sich der Nutzen der Brache erklärt.

Dieser Prozeß der Verwitterung oder natürlichen Aufschließung der Phosphate geht im Boden sehr langsam vor sich, und so ist der Nutzen recht gering, wenn man dreibasisch phosphorsauren Kalk, also Knochen z. B., den Feldern zuführt. Nur in der Form allerfeinster Verteilung kommen sie allmählich zur Geltung, da in dieser die von der Natur bewirkte Aufschließung noch am schnellsten erfolgt. Aber auch so helfen sie dem Landwirt wenig, da er sein für ein solches Düngemittel ausgegebenes Geld erst im Laufe von Jahren ganz allmählich zurückerhält.

Wiederum war es Liebig, der, nachdem er theoretisch den Wert der Phosphate für die Landwirtschaft erkannt hatte, nun auch das Mittel an die Hand gab, beliebige Mengen von Phosphaten in brauchbarem Zustande als Düngemittel zur Verfügung zu stellen. Er schlug schon 1840 vor, die natürlichen Phosphate durch Behandeln mit Schwefelsäure in in Wasser löslichen phosphorsauren Kalk überzuführen, so daß ihn die Wurzeln der Pflanzen im Jahre seiner Zuführung assimilieren können.

Zu welch einer Industrie dieser Vorschlag Liebigs im Laufe von fünfzig Jahren geführt hat, mögen folgende, auf das Jahr 1894 bezügliche Zahlen klarlegen.

Weltproduktion an Rohphosphat und Guano im Jahre 1894.

	Tonnen à 1000 kg		Tonnen à 1000 kg
Südcarolina	560000	Übertrag	1930000
Florida	425000	Deutschland	50000
Belgien	400000	Spanien	40000
Frankreich	400000	England	30000
Westindien (Guano)	30000	Kanada	15000
Südamerika	45000	Norwegen	20000
Rußland	70000	Nordcarolina	2000
	1930000		2087000

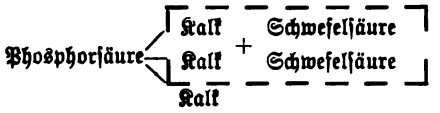
An Superphosphat wurden allein in Europa hergestellt

	Tonnen à 1000 kg
Deutschland	550000
Frankreich	440000
Belgien	275000
Holland, Schweden und Norwegen	150000
Italien und Schweiz	100000
Die anderen europäischen Länder	100000
	1615000

Wenn es auch gebräuchlich ist, von Düngung mit Phosphorsäure zu sprechen, so ist diese im freien Zustande eine viel zu ätzende Flüssigkeit, um zu diesem Zweck dienen zu können, sie würde die Wurzeln geradezu zerfressen. Man bietet sie deshalb den Pflanzen in Form von wasserlöslichem phosphorsauren Kalk, in den auch die Natur die Phosphate des Ackerbodens überführt.

Wie wir bei der Fabrikation des Phosphors, welche ebenfalls diese Überführung des dreibasischen wasserlöslichen Kalks in den wasserlöslichen einbasisch phosphorsauren Kalk verlangt, dargelegt haben, muß man, um dieses zu erreichen, auf ein Molekül des dreibasischen Kalksalzes zwei Moleküle Schwefelsäure wirken lassen, es bilden sich dann also zwei Moleküle schwefelsaurer Kalk (Gips) und ein Molekül einbasisch phosphorsaurer Kalk (s. S. 487).

Folgendes Schema gibt, ohne eigentliche chemische Formel zu sein, den Vorgang sehr gut wieder.



Die Phosphorsäure hält im Rohmaterial (dem Phosphorit, den Knochen u. s. w.), drei Moleküle Kalk fest und bildet mit ihnen eine im Wasser unlösliche Verbindung. Jetzt bemächtigen sich zwei Moleküle Schwefelsäure zweier Moleküle Kalk, so daß sich die Phosphorsäure nunmehr mit einem Molekül Kalk begnügen muß, und diese neue Verbindung, der einbasisch phosphorsaure Kalk, ist wasserlöslich.

Bei der Phosphorfabrikation (s. S. 487) wird dann dieser einbasisch phosphorsaure Kalk wirklich mit Wasser extrahiert, beim „Aufschließen" der Phosphate auf diesem Wege hat man das aber gar nicht nötig. Hier übergießt man das Rohphosphat mit starker Schwefelsäure, und es bildet sich eine Masse bestehend aus aufgeschlossenem Phosphat, Gips und den Nebenbestandteilen des Rohphosphats. Die so erhaltene Masse führt dann den Namen Superphosphat.

An dieser Stelle müssen wir aber noch folgendes erwähnen. Wird zur Überführung des Phosphats in Superphosphat eine ungenügende Menge Schwefelsäure verwendet, und die Fabrikanten wollten anfangs natürlich möglichst an ihr sparen, so entsteht als Mittelprodukt zwischen dem dreibasischen und einbasischen Kalksalz nach der Gleichung:

$$\underset{\text{Dreibasisch phosphorsaurer Kalk}}{Ca_3(PO_4)_2} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4} = \underset{\text{Zweibasisch phosphorsaurer Kalk}}{2\,CaHPO_4} + \underset{\text{Gips}}{CaSO_4}$$

zweibasisch phosphorsaurer Kalk, teils direkt, teils indem die völlig aufgeschlossenen Partien beim Lagern auf die unaufgeschlossen gebliebenen wirken.

$$\underset{\substack{\text{Einbasisch phosphorsaurer}\\ \text{Kalk (Superphosphat)}}}{Ca(H_2PO_4)_2} + \underset{\substack{\text{Dreibasisch phosphorsaurer}\\ \text{Kalk}}}{Ca_3(PO_4)_2} = \underset{\substack{\text{Zweibasisch phosphorsaurer}\\ \text{Kalk.}}}{4\,CaHPO_4}$$

Der zweibasisch phosphorsaure Kalk ist wasserunlöslich, bestimmt man also in einem derartig hergestellten Superphosphat vermittelst Analyse die Menge der wasserlöslichen Phosphorsäure gleich nach der Herstellung, so findet man sie höher als nach einiger Zeit. Man nennt das das „Zurückgehen" der Phosphorsäure, es ist für den Fabrikanten, da ihm nur die wasserlösliche Phosphorsäure voll bezahlt wird, eine sehr unangenehme Eigenschaft des Superphosphats, und so hat sich im Laufe der Jahre die Praxis herangebildet, beim Aufschließen der Phosphate lieber einen kleinen Überschuß von Schwefelsäure anzuwenden. Dann wird allerdings ein geringer Teil des einbasisch phosphorsauren Kalks völlig zerlegt, es bilden sich natürlich aus ihm freie Phosphorsäure und Gips, aber die Menge freier Phosphorsäure, um die es sich da handelt, ist so gering bemessen, daß sie unschädlich bleibt.

Die ganze Fabrikation war früher denn auch, als noch eine große Auswahl leicht aufschließbarer Phosphate, wie z. B. Knochenkohlen als Abfall der Zuckerfabriken, massenhaft zu haben waren, eine sehr einfache. Die gemahlenen Phosphate wurden in gemauerten Gruben mit Schwefelsäure gemischt. Man arbeitete einige Monate im Frühjahr, einige Wochen im Herbst, solange augenblickliche Nachfrage nach Superphosphaten vorhanden war. Heute ist das nun ganz anders geworden. Maschinen aller Art sind in die Fabriken eingezogen, um der Materialien, die zur Verarbeitung kommen, Herr zu werden. Dem ungeheuren Bedarf kann nur noch durch Aufschließen mineralischer Phosphate, also der Phosphorite genügt werden, Knochenkohle und Knochenasche repräsentieren neben ihnen nur noch unbedeutende Mengen.

Die mineralischen Phosphate (Phosphorite). Sie sind entweder wirkliche Gesteine, die dann den mineralogischen Namen Apatit führen, oder Überreste früherer Erdperioden und haben schon einmal vor undenklichen Zeiten zum Pflanzenwuchs mit beigetragen. In dieser Form hat die damalige Tierwelt jene Phosphorsäure mit ihrer

Nahrung verzehrt und teils zum Aufbau der Knochen benutzt, teils mit dem Kote wieder ausgeschieden. Wenn auch namentlich letzterer oft seine Form beibehalten hat, woher diese Phosphate den Namen Koprolithen (Kotsteine) erhalten haben, so ist doch alles Organische im Laufe der unendlichen Jahre aus diesen Resten der Tierwelt vergangener Erdperioden verschwunden, und auch sie machen ganz den Eindruck von Mineralien.

Die eigentlichen mineralischen Phosphate haben den Nachteil, daß sie fast alle Eisenoxyd und Thonerde enthalten, welche die Aufschließung sehr erschweren. Schon 3% Eisenoxyd machen einen Phosphorit sehr geringwertig, noch mehr Oxyd macht ihn für die Superphosphatfabrikation schon unbrauchbar aus Gründen, deren Darlegung uns hier zu weit führen würde. Enthalten Phosphorite reichlich kohlensauren Kalk, so werden sie durch übermäßigen Schwefelsäureverbrauch wertlos, weil diese, wenn sie zur Einwirkung gelangt, bevor sie aufschließend auf das Phosphat zu wirken vermag, erst mit dem kohlensauren Kalk Gips bilden wird, dessen Kohlensäure gasförmig entweicht, und die hierfür verbrauchte Schwefelsäure ist reiner Verlust.

Während aufgeschlossenes Knochenmehl ohne weiteres beim Aufschließen ein trockenes streubares Pulver liefert, liefern mineralische Phosphate meist ein schmieriges Produkt, welches erst einer künstlichen Trocknung bedarf, um verkäuflich zu sein.

Hieraus erklärt es sich, daß für die Düngerfabrikation geeignete natürliche Phosphorite weithin transportiert werden, wenn sie die einheimischen in der Qualität bedeutend überragen, und so haben in den letzten fünfzehn Jahren die Hauptbezugsquellen für das Phosphat sehr gewechselt. Wir haben in Deutschland z. B. Phosphorite in der Lahngegend, was seit 1850 bekannt ist, aber sie sind nie viel ausgebeutet worden, weil ihr Gehalt an phosphorsaurem Kalk im Gestein von 20—70% schwankt, und sie reichlich Eisenoxyd enthalten, wie folgende Analysen, die nur die uns interessierenden Zahlen geben, zeigen.

	Lahnphosphorite.		
Phosphorsaurer Kalk	85,25	73,88	63,72
Kohlensaurer Kalk	7,25	6,25	4,70
Eisenoxyd + Thonerde	0,05	5,44	7,23

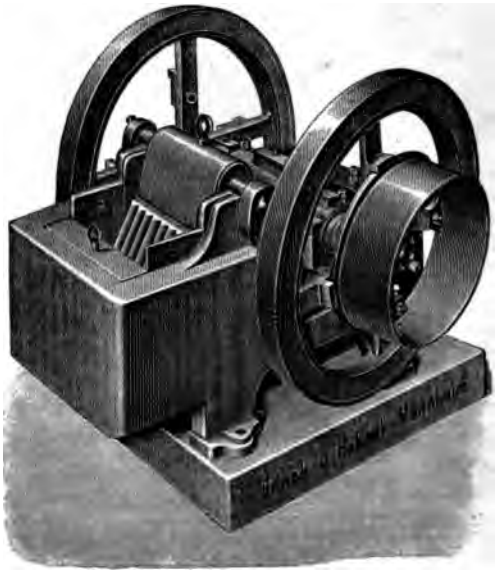
Auf die besondere Art der Behandlung und Ausnutzung dieser Lahnphosphorite kommen wir noch zurück. Bis zum Jahre 1890 wurden ganz besonders viel die Phosphorite aus der Somme in Frankreich und die von der westindischen Insel Aruba verarbeitet. Weniger bedeutend war der Verbrauch von Kanadaphosphoriten und russischen Koprolithen, die namentlich aus Podolien kamen. Die Verarbeitung der letzteren im übrigen Europa hörte auf, seitdem die russische Regierung einen Ausfuhrzoll auf sie gelegt hat. Sie kommen in der Gegend von Kursk so massenhaft vor, daß sie dort teilweise mit zu Chausseebauten verwendet worden sind.

Die an der Somme im Jahre 1886 entdeckten Phosphatlager haben eine große Ausdehnung und liegen fast auf der Oberfläche des Bodens. Die Sandgrube des Dorfes Beauval, welche sich mitten in diesem Orte befindet und seit sicher 50 Jahren schon im Betriebe war, enthielt, wie zuerst der Geologe Merle konstatierte, einen sehr phosphatreichen Sand. Man muß sich nur wundern, daß ältere Geologen, als sie die geologische Karte des Landes aufnahmen, dies nicht bemerkt haben. Die weitere Durchforschung der Umgegend ergab phosphatreiche Schichten von 10—12 m Mächtigkeit, und günstige Stellen hatte 70—80, ja in vereinzelten Fällen bis 92% Kalkphosphat. Die Sandgrube zu Beauval ist sehr bald für 2 Millionen Frank verkauft worden. Etwa 5 km von Beauval beim Dorfe Orville stieß man auf ein ähnlich reiches Phosphatlager, dessen Ausdehnung etwa 25 ha betrug. Man sieht, nicht nur in Südafrika vermag dürrer Fels Gold zu liefern, auch in Europa können sich Sandgruben plötzlich in Goldgruben verwandeln. Ähnlich wie im Siebengebirge in den sechziger Jahren ein Brunnenmeister den Traß gefunden hat (s. S. 48), der die dortige große Traßmühlenindustrie in das Leben gerufen hat, während die Geologen bis dahin sein Vorkommen nicht konstatiert hatten, war es mit dem Phosphat der Somme also den älteren französischen Geologen gegangen.

Mit Beginn der neunziger Jahre wurden sodann gewaltige Lager leicht gewinnbaren Phosphats in Florida (Nordamerika) gefunden. Dort findet es sich bald auf dem

Festlande, bald im Sande der Flüsse, z. B. des Peaceflusses und des Alafiaflusses. Die Gewinnung von Phosphat aus diesen ist sehr einfach, und so stellt sich das Produkt sehr billig. Zu dem Zwecke pumpt man mit den Zentrifugalpumpen der Baggermaschinen den Boden des Flusses auf Siebe. Durch die Löcher derselben läuft der Sand mit dem Wasser ab, während das Phosphat in Körnern auf ihnen liegen bleibt. Es braucht hernach nur getrocknet zu werden, um Handelsware zu sein. Die Ausbeute wechselt sehr je nach der Reichhaltigkeit des Flußsandes, manchen Tag liefert ein Bagger 100 t Phosphat und den nächsten kaum 20. Es besteht aus kleinen runden Knollen bis zur Größe einer Walnuß, von blauschwarzem Aussehen, und zeigt die gleiche chemische Zusammensetzung wie die Phosphatknollen, welche sich in der Gegend dieser Flüsse massenhaft im Boden finden und zumeist im Tagbau gewonnen werden, indem man sie so gut wie möglich von den sie einhüllenden Beimengungen trennt.

Die Ausbeutung der ungeheuren Phosphatvorräte, die sich in Südcarolina finden, geschieht ganz in der gleichen Weise. Sie werden dort in der Nähe der Stadt Charleston in vier bis fünf Abbaugebieten ausgebeutet. Auch hier werden sie teils aus dem Flusse heraufgepumpt, teils auf dem Festlande gewonnen. Die Landphosphate liegen im Mittel 3—4 m unter der Oberfläche. Im Vergleich zu den Floridaphosphaten, die vornehmlich nach Deutschland verschifft werden, sind sie reicher an Eisenoxyd und Thonerde und werden deshalb meist in Amerika verarbeitet, wo man keine so großen Ansprüche an die Reinheit des Rohmaterials wie bei uns stellt. Die Phosphatgewinnung bei Charleston ist rasch sehr groß geworden. Im Jahre 1867 betrug sie 6 t, 1890 586 758 t und 1892 550 000 t. Im Jahre 1894 hatten die Phosphate an Ort und Stelle einen Preis von 21—33 Mark die Tonne, während deren Gewinnungskosten etwa 17 Mark waren. Im Jahre 1897 hatten sie infolge der Konkurrenz von Florida, Tennessee und Algier aber nur einen Verkaufspreis von 9 Mark etwa, weshalb auch nur eine Grube im Betriebe war. In der Gegend sind ungefähr 600 qkm abbauwürdiges Phosphatland vorhanden, und hier mögen gegen 50 000 000 t von ihm lagern. Über die riesigen Vorräte Floridas liegen keine zuverlässigen Gesamtschätzungen vor, kurzum, man sieht schon diese zwei Fundstellen werden so bald einen Mangel an Phosphat für die Landwirtschaft nicht aufkommen lassen. Die besten aus Florida nach Deutschland importierten Phosphorite haben einen Durchschnittsgehalt an 75—82 % phosphorsaurem Kalk. Sie stellen sich in Europa so billig, daß der Betrieb eines ganzen Teiles der Werke an der Somme schon wieder eingestellt worden ist.



480. Steinbrecher für Phosphorite.

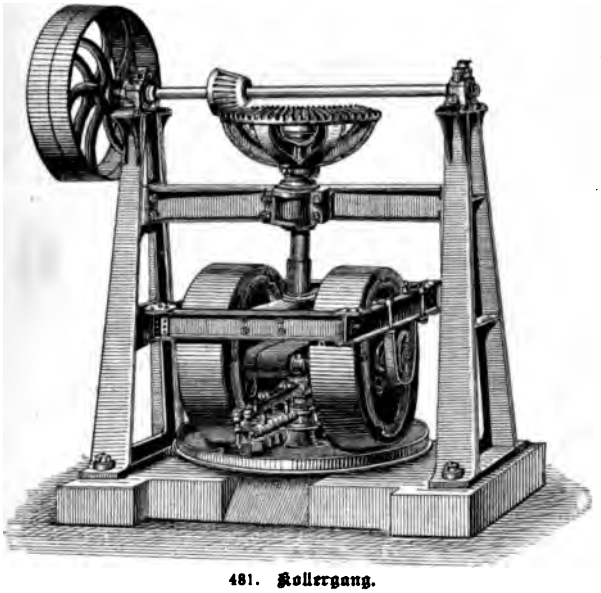
Und immer neue Fundstätten tauchen auf. So werden jetzt Phosphatminen zu Tebessa in Algier, Departement Constantine, wo sie in einer ganz unwirtlichen Gegend liegen, von drei großen Gesellschaften ausgebeutet, von denen die Crokston-Mine die bei weitem am besten eingerichtete ist, die auch der großen Schwierigkeiten, die die Ausbeutung hier anfangs bot, völlig Herr geworden sein soll. Der Gehalt dieser Phosphate wird auf durchschnittlich 55—65 % an phosphorsaurem Kalk angegeben, und auch den beiden amerikanischen großen Fundstätten ist in dem nördlich von Florida gelegenen Tennessee ein neuer Konkurrent erstanden mit einem Phosphat von etwa 70 % Gehalt.

Die letzteren haben neben dem hochprozentigen Floridaphosphat wenigstens in Deutschland einen schweren Stand. Je reicher an phosphorsaurem Kalk das Rohmaterial ist, um so reicher an löslicher Phosphorsäure fällt natürlich das Superphosphat aus, und da unsere Landwirte noch an sehr reiche Superphosphate gewöhnt sind, können ihnen diese nur aus Floridaphosphat hergestellt geliefert werden.

Wie man sieht, sind, was Phosphatvorkommen anbetrifft, die Kulturländer und halbwegs kultivierten Länder noch lange nicht abgesucht, da kann es jeden Tag Überraschungen geben, von wenig bekannten Ländern ganz zu schweigen.

Die Überführung der Rohphosphate in die Superphosphate gestaltet sich nun folgendermaßen:

Wir geben die Einrichtungen einer solchen Fabrik, wie sie die Maschinenfabrik von Brinck und Hübner in Mannheim jetzt einrichtet, wieder, welche uns in liebenswürdigster Weise die speziellen Mitteilungen und Abbildungen ihrer Maschinen zur Verfügung gestellt hat.



481. Kollergang.

Die zur Fabrikation bestimmten Knochen oder die Knochenasche und das Phosphat müssen, um der Aufschließung zugängig zu werden, so fein als möglich gemahlen werden, dies gilt namentlich vom Phosphat. Bei letzterem besonders umhüllt sonst der sich bildende Gips die kleinen Partikelchen, und hindert das Eindringen der Schwefelsäure ins Innere derselben und damit ihr Aufschließen.

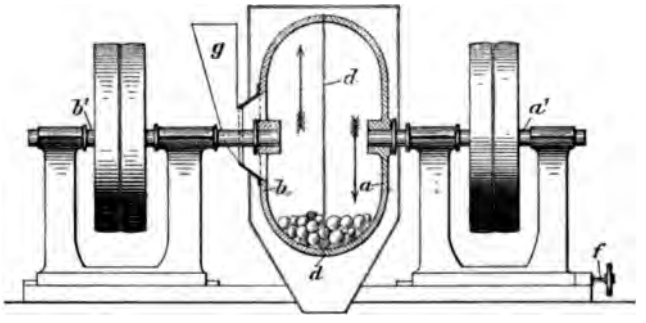
Man hat für diesen Zweck der Zerkleinerung eine große Anzahl von Maschinen konstruiert, von denen wir hier einen Steinbrecher und einen Kollergang abbilden. Das in den Steinbrecher geworfene Rohphosphat wird hier zwischen aus Hartguß bestehenden Brechbacken zerkleinert. Der Spalt, durch welchen das zerbrochene Gut durchfallen muß, wird meist auf 5 mm eingestellt, während der Einwurf etwa 300 mm weit ist. Zu seinem Antrieb bedarf ein solcher Apparat etwa 3—4 Pferdekräfte, und mit diesen verarbeitet er stündlich bis 3000 kg Rohmaterial.

Sehr hartes Material hat man auch häufig auf Kollergängen zermahlen. Wir sehen hier einen solchen für diese Fabrikation besonders geeigneten mit seinem Antrieb von oben. Die Läufer sind so weit in der Achse beweglich gelagert, daß selbst das Fortlaufen über größere Stücke ohne Schaden ermöglicht ist. Außerdem finden auch Kugelmühlen viel Verwendung. Wir geben die Abbildung einer solchen, wie sie in der allerneuesten Zeit patentiert worden ist. Bei dieser Kugelmühle besteht der Mühlenkörper aus zwei schalenförmigen Teilen a und b, von denen jeder auf einer wagerechten Achse a^1 bezw. b^1 sitzt. Die Achsen a^1 und b^1 tragen je eine Fest- und eine Losscheibe und sind in Ständern gelagert, die vorteilhaft auf einer gemeinschaftlichen Grundplatte angeordnet sind. Die schalenförmigen Teile a und b berühren sich mit ihren Rändern nicht, sondern lassen einen Zwischenraum d zwischen sich, dessen Breite durch Vor- oder Zurückschieben des einen Schalenteiles a mittels der Schraube f verändert werden kann, je nachdem das Mahlgut die Mühle mit größerer oder geringerer Feinheit verlassen soll.

In dem von den beiden Schalen a und b eingeschlossenen Raume befinden sich die Kugeln, denen das Mahlgut seitlich durch den Trichter g und Öffnungen in der Schale b

zugeführt wird. Je nach dessen Beschaffenheit setzt man nun eine oder beide Schalen in Drehung, um das Mahlgut zu zerkleinern, das die Mühle durch den Spalt d verläßt.

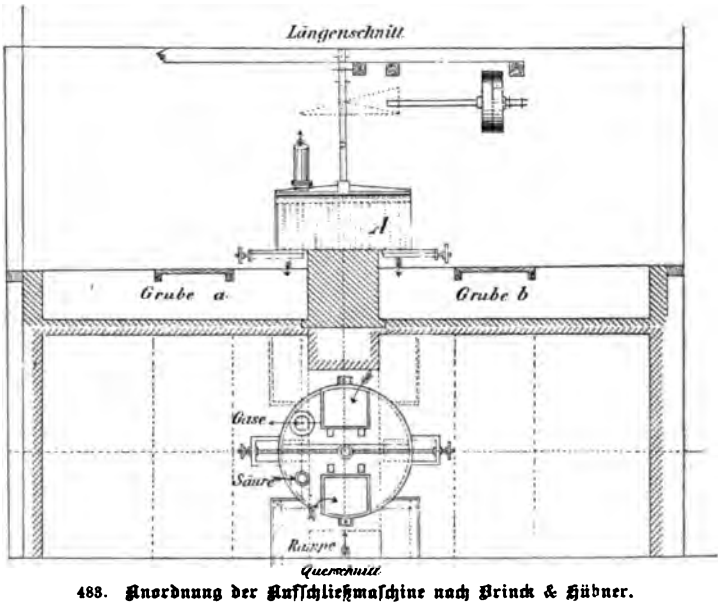
Bei allen älteren Konstruktionen besteht der Mühlenkörper aus einem Stücke, an dem geeignete Einfüll- und Ausleervorrichtungen angebracht sind. Wie sich diese neueste Konstruktion bewähren wird, muß die Zeit lehren.



482. Patentkugelmühle nach Löhnert.

Das Aufschließen des feingemahlenen Phosphates erfolgte bis in die achtziger Jahre zumeist so, daß man gemauerte Gruben in der Fabrik hatte, in welche die abgewogene oder abgemessene Menge Schwefelsäure hineingegeben wurde, worauf Arbeiter die entsprechende Menge Phosphat hineinschaufelten. Die anfangs dünnflüssige Masse wurde so lange gerührt, bis sie hierfür zu dick wurde. Der Übergang aus dem einen in den anderen Zustand beruht darauf, daß das mit der Schwefelsäure in die Mischung gebrachte Wasser von den entstehenden Verbindungen wie dem Gips in Form von Kryställwasser gebunden wird, sozusagen in den festen Zustand übergeht.

Die Schwefelsäure für diese Fabrikation stellen sich heutzutage wohl alle Superphosphatfabriken selbst her, da sie bei ihrer Größe billiger zu ihr kommen, als wollten sie sie wie die ehemaligen kleineren Betriebe kaufen. Dazu fällt bei dieser Fabrikation die Notwendigkeit, die Kammersäure (s. S. 382) zu konzentrieren, fort, indem diese, die durchschnittlich 67% H_2SO_4 enthält, zum Aufschließen genügt. Arbeitet die Schwefelsäureanlage mit einem Gloverturm (s. S. 376), so hat die betreffende Fabrik sogar Schwefelsäure mit einem Gehalt von etwa 80% ohne besondere Verdampfungskosten zur Verfügung, welche selbst für nasses Rohmaterial hinreicht.

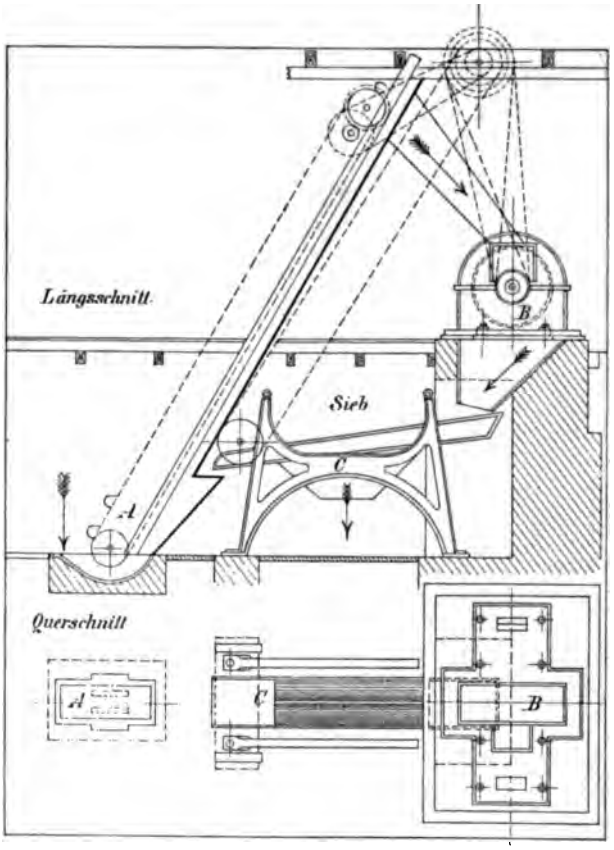


483. Anordnung der Aufschließmaschine nach Brinck & Hübner.

Mit dem Eintragen des Phosphats in die Schwefelsäure beginnt sogleich eine heftige Reaktion, es tritt sehr bedeutende Erwärmung ein, die das Aufschließen natürlich auf das günstigste unterstützt, zumal sie bis zu 120° ansteigen kann.

Heute schließt man alles Phosphat statt in Gruben in Maschinen auf. Die Maschinen, wie sie Brinck und Hübner liefern, arbeiten periodisch und sind gewöhnlich für die Aufnahme von 250 kg Phosphatmehl und 250 kg Schwefelsäure berechnet. Die Aufschließmaschine A auf Abb. 179 besteht im wesentlichen aus einem gußeisernen Bottich,

in welchem ein mit vielen vertikalen Rührern versehener dreiarmiger Flügel rotiert, welcher seine Bewegung durch eine stehende Welle und Zahnrädervorgelege erhält. Die Rührer bestehen entweder aus Holz oder Gußeisen und sind sehr leicht auswechselbar. Der Spurzapfen der stehenden Welle liegt sehr hoch, so daß derselbe mit dem im Bottich befindlichen Gemisch nicht in Berührung kommen kann. Der Bottich ist mit einem gußeisernen Deckel versehen, welcher zwei aufklappende Thüren besitzt, die zum Einfüllen des Phosphatmehls und auch zum Reinigen des Bottichs dienen. Außerdem besitzt der Deckel noch zwei angegossene Stutzen. Einer von ihnen dient zum Ansatz des Bleirohres, durch welches die Schwefelsäure einläuft, der andere zum Ableiten der beim Mischen entstehenden Gase.



484. Mahlvorrichtung für Superphosphat nach Brinck & Hübner.

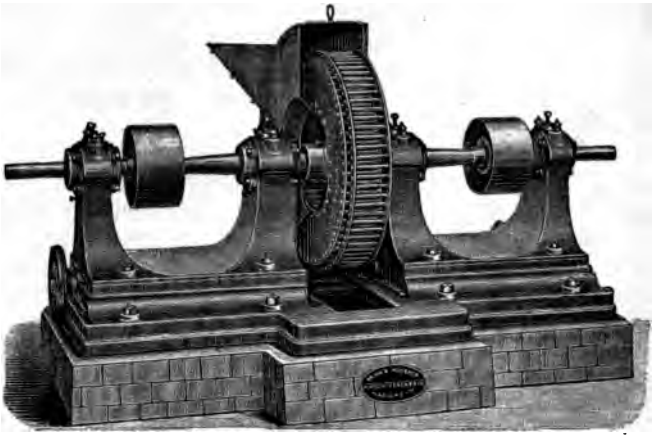
Diese sehr sauer riechenden Gase werden jetzt vom Stutzen aus meist in den Kamin geleitet. Da sie für die Arbeiter recht schädlich sind, banden sich diese, solange noch in offenen Gruben gearbeitet wurde, deshalb mit Kalkmilch getränkte Schwämme vor den Mund. Den Arbeiter nicht beläftigende Schutzvorrichtungen, von denen wir eine S. 405 beschrieben haben, kamen erst später in Anwendung. In diesen Gasen ist stets etwas Flußsäure (s. S. 427), vom Gehalt der Phosphate an Fluorcalcium her, enthalten. Sie können, wenn viel Phosphat verarbeitet wird, geradezu schädigend auf den Pflanzenwuchs in der Umgebung der Fabrik wirken und zu Entschädigungsansprüchen seitens der umliegenden Besitzer Veranlassung geben. Außer der angegebenen Art, sie durch das Einleiten in den Kamin zu entfernen, sind deshalb eine ganze Anzahl Konstruktionen ausgeführt worden, um sie durch Absorption mittels Wassers, das ihnen über Koks oder Reisig entgegenläuft, unschädlich zu machen.

Eine Charge der oben angegebenen Art bedarf ungefähr 15 Minuten zur innigen Mischung, das Ein- und Ausfüllen mit eingerechnet, so daß eine solche Maschine für 20 000 kg Leistung in 10 Stunden genügt. Sie verlangt einen Kraftaufwand von 4—6 Pferdestärken.

An ihrem Boden befinden sich zwei mittels Handrad und Schraube bewegliche Schieber, durch welche das fertige Gemisch einmal in die Grube a und das andere Mal in die Grube b fällt. In diesen Gruben bleibt das Superphosphat nun tagelang liegen, wobei seine durch die Reaktion erzeugte Hitze ihm möglichst lange erhalten bleibt, die die völlige Aufschließung aller Partikelchen vollenden hilft.

Die nebenstehende Abbildung zeigt uns die Aufstellung der Aufschließmaschine in der Fabrik und ihre Stellung zu den Gruben im Quer- und Längsschnitt.

Wir sehen im Längsschnitt die Art ihres Antriebes von der Dampfmaschine her, und die Öffnungen zum Einfließen der Schwefelsäure und Entweichen der Gase, deren Lage wir genauer im Querschnitt erkennen. Auch die Entleerung des fertigen Superphosphats in die Gruben ist hiernach leicht verständlich, während der Querschnitt wiederum zeigt, wie von passend hohen Rampen aus das gemahlene Rohphosphat in die Aufschließmaschine befördert wird.

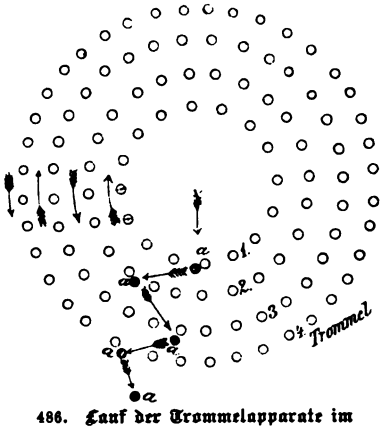


485. Desintegrator.

Hat das Superphosphat genügende Zeit in den Gruben gelegen, so muß es nun, weil es klumpig ist, noch gemahlen und gesiebt werden. Ursprünglich begnügte man sich damit, es einfach von Arbeitern durch ein Sieb werfen zu lassen, jetzt bedient man sich zumeist folgender Mahleinrichtung:

Das zu mahlende Superphosphat wird in den Schöpftrog des Kettenelevators A geworfen, welcher dasselbe hoch hebt und in den Aufgabetrichter des Desintegrators B ausschüttet. Der Elevator besteht für gewöhnlich aus aus Stahlblech zusammengenieteten Bechern von 25 cm Breite mit starker Gallscher Gelenkbecherkette.

Die Desintegratoren sind Mühlen, welche im allgemeinen im wesentlichen aus vier, sechs oder acht konzentrisch ineinander laufenden Trommeln bestehen, deren cylindrische Umfassungswände aus Stäben gebildet sind, welche an der einen Seite in Scheiben, an der anderen in Ringen vernietet sind. Die erste innere, dritte und fünfte Trommel bilden ein zusammenhängendes Ganzes, welches mit der Nabe der Scheibe auf die eine Achse befestigt ist und von dieser mittels einer Riemenscheibe in rotierende Bewegung gesetzt wird. Ebenso sind auch die zweite, vierte und sechste Trommel als zusammenhängender Teil des Apparates auf die andere Achse befestigt, um von einer zweiten Riemenscheibe angetrieben zu werden. Der eine Riemen ist nun in gewöhnlicher Weise aufgelegt, während der andere gekreuzt wird, so daß die beiden Trommelapparate in entgegengesetzter Weise rotieren



486. Lauf der Trommelapparate im Desintegrator.

Die zu pulverisierenden Materialien werden durch den am Umhüllungskasten des Ganzen befindlichen Trichter permanent in das Innere des Apparates gebracht und aus der ersten Trommel durch die entsprechend weiten Zwischenräume der Stäbe infolge der Zentrifugalkraft in die zweite entgegengesetzt laufende geschleudert, wo sie, teilweise zerschlagen, wieder in die dritte, die nun wieder in der Richtung der ersten läuft, getrieben, immer weiter zerkleinert in die vierte und so weiter gelangen, und von da in pulverisiertem Zustande gleichmäßig an allen Punkten der Peripherie herausgeschleudert werden. In höchstens einer Sekunde haben die Materialien den Trommelapparat passiert.

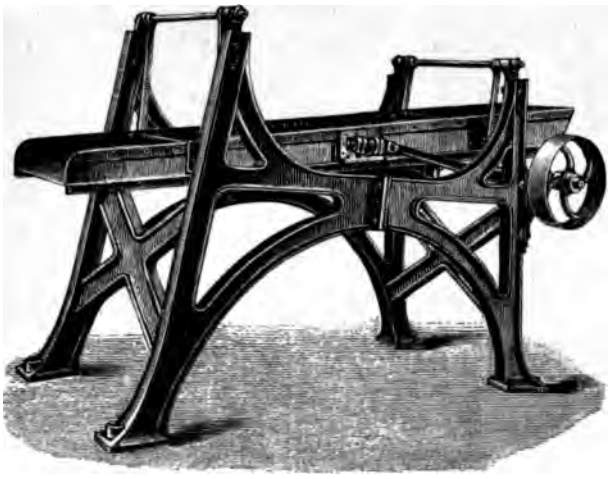
Speziell für das außerordentlich schwierige Vermahlen von nassem schmierigen Superphosphat verwendet man neuerdings Desintegratoren mit großem Erfolge, welche nur drei Stabreihen enthalten, von denen zwei feststehen und nur die mittelste sich dreht.

Für gewöhnliches Superphosphat gibt man ihnen auch nur höchstens vier Stabreihen, deren Stäbe sehr lang sind und sehr weit auseinander stehen. Die Trommeln sind hier, sowohl an der Peripherie wie an den Seiten mit Abstreichern versehen, um ein Zusetzen des Umhüllungskastens zu verhindern.

Auf unserer Abbildung gelangt das vom Desintegrator kommende Mahlgut auf das Schüttelsieb C, dessen Siebfläche aus ▽▽▽ Dreikant-Stahlstäben gebildet ist, um ein Zusetzen des Siebes bei etwaigem schmierigen Material thunlichst zu verhindern, während das grobe vom Siebe Ausgeschiedene in den Schöpftrog des Elevators A wieder zurückfällt, um von diesem dem Desintegrator behufs vollständiger Zerkleinerung neuerdings zugeführt zu werden.

Das Sieb besteht im wesentlichen aus einem hin und her schwingenden, mit Maschinenkraft bewegten eisernen Rahmen, um den, damit den Stößen die nötige Elastizität nicht fehle, Gummipuffer oder Federn eingelegt sind, zwischen denen es dann vibriert.

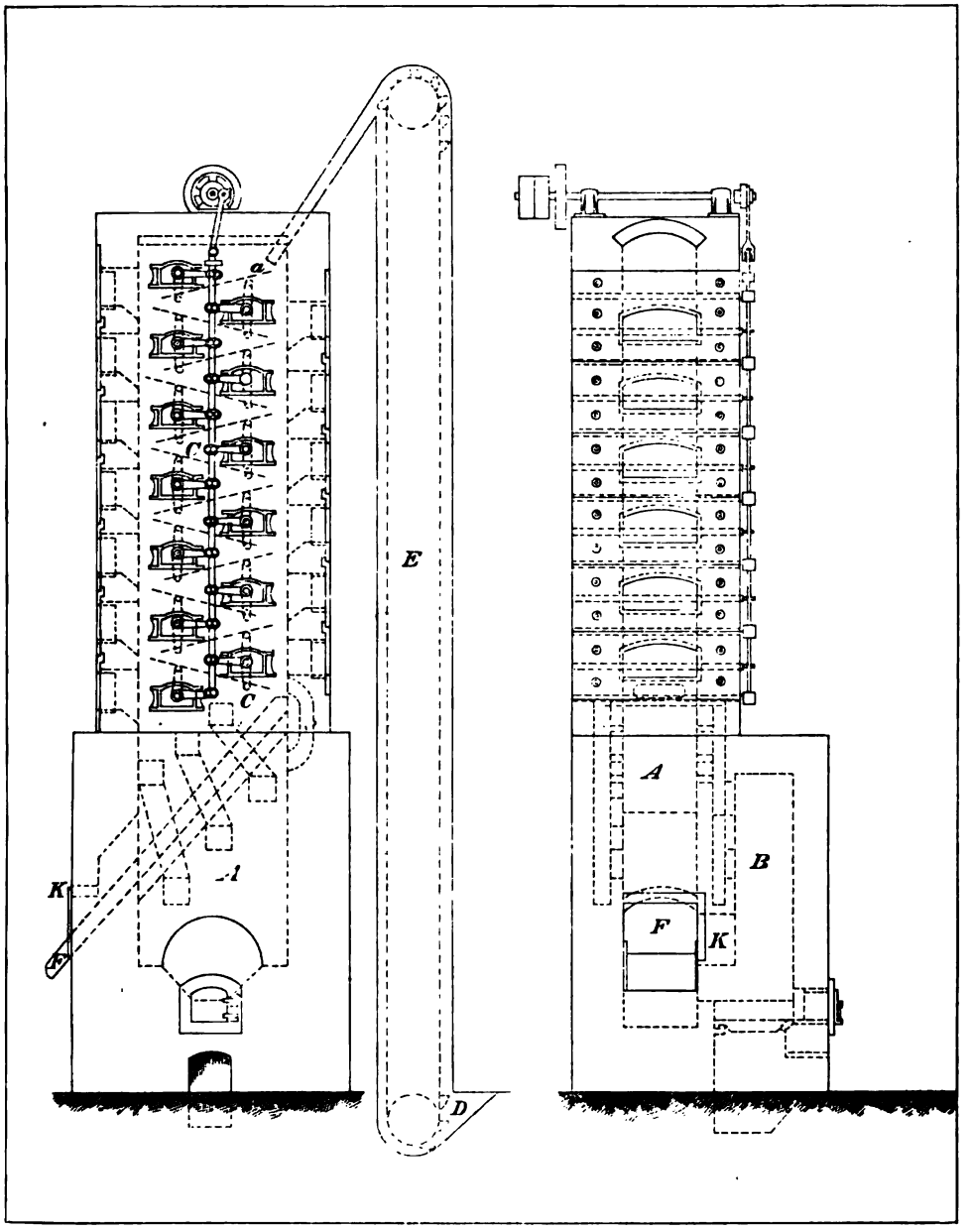
Die ganze Mahlanlage, wie wir sie abgebildet haben, erfordert zu ihrem Betriebe 8—10 Pferdekräfte, wobei der Desintegrator einen Durchmesser von 1 m hat, und die Dimension des Schüttelsiebes 2 m Länge bei 60 cm Breite beträgt.



487. Schüttelsieb.

Wir haben im Vorhergehenden schon häufiger erwähnen müssen, daß manches Superphosphat feucht ausfällt. Es rührt das davon her, daß im Gemisch der Rohmaterialien ein zu großer Überschuß an Wasser vorhanden ist, als daß er von den bei der Entstehung des Superphosphats sich bildenden chemischen Verbindungen in Form von Krystallwasser festgehalten werden kann, oder als daß er eine unschädliche Feuchtigkeit veranlaßt. Um nämlich das Superphosphat mit den Düngerstreumaschinen gut auf dem Acker verteilen zu können, können die Landwirte nur trockenes Material verwenden.

Die Fabriken, deren Rohmaterial zur Entstehung von feuchtem Superphosphat Veranlassung gibt, brauchen deshalb besondere Trockenvorrichtungen, um ihm seine Feuchtigkeit zu nehmen. Wir geben hier die von Lorenz in Hannover nach dem Rüttelprinzip konstruierte, uns zur Verfügung gestellte Abbildung einer Darre wieder, wie sie jetzt zu diesem Zwecke vielfach Verwendung findet. Ältere Anlagen waren weit einfacher hergerichtet, sie bestanden aus Platten, die direkt geheizt wurden. Auch dient zur Heizung mancher Systeme direkter Dampf, oder der Abdampf der Dampfmaschine, welche dann natürlich nicht mit Kondensation betrieben werden kann. Sie blieben aber in ihrer Leistungsfähigkeit sehr hinter dieser Neueinrichtung zurück. Diese Darre besteht nun der räumlichen Anordnung nach aus den eine Fortsetzung des Feuerungsraumes bildenden Heizkammern A und B und dem Schachte C. Nachdem die Heizkammern sowie der Schacht angewärmt sind, kann man mit dem Beschicken der Darre beginnen, indem man das zu trocknende Material in den Schöpftrog D des Elevators E einwirft. Derselbe bringt das Darrgut auf das oberste maschinell bewegte Schüttelblech a, von welchem es infolge des Gefälles und der stoßweisen Vor- und Rückwärtsbewegung auf das zweite Schüttelblech und weiter auf die folgenden Schüttelbleche gelangt, bis es zum Schlusse auf die zur Abzugsthür K führende Schurre F fällt, welche als Sammelort zwecks Nachtrocknens und Ausdampfens dient. Die Ein-



488. Rütteldarre für Superphosphattrocknung (von Dr. J. Lorenz in Hannover)

richtung ist weiter so getroffen, daß man im stande ist, die Weglängen der Schüttelbleche und damit die Leistungsfähigkeit der Darre innerhalb weiter Grenzen, also dem Feuchtigkeitsgehalt des Trockengutes und der dadurch bedingten kürzeren Trockendauer entsprechend zu verändern. Mittels dieser Darre können stündlich 2500 kg Superphosphat getrocknet werden.

Das Doppelsuperphosphat. Versetzt man feingemahlenen phosphorsauren Kalk mit so viel Schwefelsäure, daß diese allen Kalk bindet, so erhält man eine Lösung von Phosphorsäure.

$(PO_4)_2Ca_3$ + $3H_2SO_4$ = $2H_3PO_4$ + $3CaSO_4$
Dreibasisch phosphorsaurer Kalk + 3 Moleküle Schwefelsäure = Phosphorsäure + Gips.

Um dies für die Fabrikpraxis zu erreichen, muß man mit sehr verdünnter Schwefelsäure arbeiten, man nimmt sie etwa 20prozentig. In dieser Verdünnung zerlegt sie den phosphorsauren Kalk, aber nicht mehr phosphorsaures Eisen, und so eignen sich die eisenhaltigen Lahnphosphorite, deren Analyse wir oben mitgeteilt haben, ausgezeichnet gerade für diese Fabrikation. Mischt man sie in feingemahlenem Zustande mit Schwefelsäure von der angegebenen Konzentration, so erwärmt sich die Flüssigkeit bis auf 60°, worauf im Laufe einer Stunde völlige Zerlegung des Kalkphosphats eingetreten ist. Man hat jetzt eine Lösung von Phosphorsäure, in der sich Gips ausgeschieden hat. Vermittelst einer Filterpresse werden beide voneinander getrennt. Der Gips hält, obgleich die Pressen mit Auswaschvorrichtungen versehen sind (s. S. 342), doch etwas Phosphorsäure zurück und ist in der Nähe des Fabrikationsortes als Phosphatgips verkäuflich.

Die erhaltene Lösung der Phosphorsäure wird sodann in einem Flammofen durch oberschlächtiges Feuer auf einen Gehalt von etwa 50% Phosphorsäure eingedampft. Mit dieser Lösung kann man nun leicht aufschließbare Phosphate, aber nicht Phosphorite aufschließen. Solche leicht aufschließbaren Phosphate sind Knochenmehl, Knochenasche und Guanos. Nach der Gleichung:

$Ca_3(PO_4)_2$ + $4H_3PO_4$ = $3Ca(HPO_4)_2$
1 Molekül dreibasisch phosphorsaurer Kalk (wasserunlöslich) + 4 Moleküle Phosphorsäure = 3 Moleküle einbasisch phosphorsaurer Kalk (wasserlöslich)

geht hierbei ihr unlöslicher phosphorsaurer Kalk völlig in wasserlöslichen phosphorsauren Kalk über. Da hier der phosphorsaure Kalk nicht durch Schwefelsäure, wie im Superphosphat, sondern durch Phosphorsäure löslich gemacht ist, nennt man dieses Düngemittel sehr passend Doppelsuperphosphat, es enthält bis 42% wasserlösliche Phosphorsäure und außerdem 3—4% citratlösliche. Was das letztere bedeutet, wollen wir beim Thomasphosphatmehl erörtern.

Das Doppelsuperphosphat muß stets künstlich getrocknet werden, worauf es mittels Desintegratoren gemahlen wird. Es wird namentlich für den Export hergestellt, weil die Fracht bei ihm im Verhältnis zu seinem Phosphorsäuregehalt möglichst gering ist, und spielt auch eine Rolle als Gartendünger, wo wiederum die Kosten weniger in Betracht kommen.

Das Thomasphosphatmehl. Wenn wir jetzt das Thomasphosphatmehl besprechen und nach ihm erst zu den Guanos kommen wollen, so geschieht es, weil diese neben Phosphorsäure auch Stickstoff enthalten und so den Übergang zu den Stickstoffdüngern bilden sollen.

Bei der Darstellung der Eisenhüttenkunde (Bd. V) ist auseinandergesetzt worden, welchen Fortschritt die Entphosphorung des Roheisens im Bessemerkonverter bedeutet hat. Bei der außerordentlichen Menge billiger phosphorhaltiger Eisenerze, die es gibt, war es höchst bedauerlich, daß das aus ihnen hergestellte Eisen, weil es phosphorhaltig wurde, nur zu den allergröbsten Gußwaren verwendet werden konnte, während an eine Weiterverarbeitung solchen Roheisens in schmiedbares Eisen gar nicht zu denken war. Nun ist doch der billigste aller Prozesse zur Überführung von Roheisen in Stahl der Bessemerprozeß, der 1856 erfunden, die Kultur aus der Eisenzeit in die Stahlzeit überführte. Er besteht bekanntlich darin, daß durch das flüssige Roheisen in einem Gefäß, welches die Form einer Birne hat, Luft geblasen wird. Hierbei verbrennt der Kohlenstoff des Roheisens, und das glühende Bad liefert, passend weiter behandelt, gießbaren Stahl, welcher nach seinem Erfinder Bessemerstahl heißt. Diese Verwandlung von Roheisen in Stahl erfordert also keinen Brennmaterialaufwand, weil der im glühenden Eisen verbrennende Kohlenstoffgehalt des Roheisens nebst einigen anderen Bestandteilen desselben die nötige Hitze für sie liefert. Ja er liefert solche Hitze, daß Bessemer alle Not hatte, überhaupt die Birne mit genügend feuerfestem Material auszufüttern, als solches dienten ihm sehr kieselsäurereiche feuerfeste Steine.

Kommt in die Bessemerbirne phosphorhaltiges Roheisen, so findet man dessen Gesamtphosphor hernach im Stahl, den es völlig unbrauchbar macht, wieder, also solches Eisen kann man auf diesem Wege gar nicht verarbeiten. Daß der Phosphor im Bessemer-

prozeß verbrennen kann, kann keinem Zweifel unterliegen, verbrennt doch in ihm der Kohlenstoff des Roheisens. Aber während dessen Verbrennungsprodukt das Kohlenoxyd oder die Kohlensäure, die sich je nach der herrschenden Temperatur bilden, gasförmig entweichen, kann die aus dem Phosphor entstehende Phosphorsäure, weil sie feuerbeständig ist, aus dem Bade nicht heraus. Da war es die geniale Idee zweier englischen Hüttenleute Thomas und Gilchrist, daß sie die Bessemerbirne mit genügend haltbarem basischen, d. h. kalkhaltigem feuerfesten Material ausfütterten. Als sie in der so montierten Birne, in die außerdem noch Kalk gegeben wird, im Jahre 1879 nun phosphorhaltiges Roheisen verarbeiteten, bekamen sie phosphorfreien Stahl, indem der Phosphor des Roheisens zu Phosphorsäure verbrennend sich mit dem Kalk in ihrer Birne verband, wodurch das Eisen phosphorfrei wurde und der Kalk zum Teil in phosphorsauren Kalk überging.

Damit ist nun folgendes erreicht. Stahl kann jetzt aus den allerbilligsten Eisenerzen hergestellt werden, und die beim Überführen solchen Roheisens in Stahl abfallende Schlacke ist nicht wertlos, wie alle sonstigen Schlacken, sondern wird als Düngemittel verkauft, so daß sie indirekt zur Verbilligung des Stahles beiträgt. So sind denn heute Stahlschienen z. B. billiger als je, weil der mit den Erzen, aus denen ihr Eisen stammt, mitgewonnene Phosphor von den Landwirten als wertvolles Düngemittel in Form von Thomasphosphatmehl bezahlt wird.

Die Brauchbarkeit der Thomasschlacke als Düngemittel ist nicht sogleich erkannt worden, und sie wurde einige Jahre, wie andere Schlacken, auf die Halde gestürzt. Sie ist nämlich von ihrer Gewinnung her sehr reich an Kalk, und wollte man sie mit Schwefelsäure behandeln, so würde diese erst allen Kalk abstumpfen, bevor sie auf den phosphorsauren Kalk wirken könnte. Dazu kommt, daß ein hoher Gehalt an phosphorsaurem Eisen das Aufschließen an sich auch noch erschwert, kurzum ihre vorteilhafte Verwendung als Düngemittel schien fast ausgeschlossen. Das änderte sich etwa mit dem Jahre 1885. Zu dieser Zeit fing man an, unter Verzicht auf jede chemische Verarbeitung sie einfach fein zu mahlen und das so erhaltene Mehl auf den Acker zu bringen. Der Erfolg war auf geeigneten Bodenarten geradezu überraschend, und sehr bald stieg der Verbrauch an diesem Mehl auf Millionen von Zentnern jährlich. Während wir bisher gesehen haben, daß gewöhnlicher phosphorsaurer Kalk in unaufgeschlossenem Zustande so gut wie gar keine den Pflanzenwuchs befördernde Wirkung ausübt, müssen beim Thomasphosphatmehl hinsichtlich seines phosphorsauren Kalkes also die Verhältnisse anders liegen, und das ist in der That der Fall.

Wir haben oben vom sogenannten Zurückgehen der Phosphorsäure im Superphosphat gesprochen und die Gründe für diese Erscheinung dargelegt. Solches zurückgegangene Phosphat ist zwar wasserunlöslich, läßt sich aber durch eine Lösung von zitronensaurem Ammoniak in Lösung bringen und hat ebenfalls Düngewert, wenn er auch nicht so groß ist, wie der des völlig aufgeschlossenen Phosphats. Das ist die „citratlösliche Phosphorsäure", ein Ausdruck, der in den Kreisen, die Superphosphate verbrauchen, sehr bekannt ist. Nun ist auch merkwürdigerweise ein großer Teil des phosphorsauren Kalks der Thomasschlacken, wenn man sie nur recht feinmahlt, citratlöslich, hat also ohne weiteres Düngewert. Nach Wagner ist z. B. vom Gehalt der deutschen Schlacke an Phosphorsäure 60—93 % citratlöslich.

Die nötige Feinmahlung der Schlacke bot anfangs bedeutende Schwierigkeiten. Man begann die Vermahlung auf den üblichen Phosphatmühlen mit Brechwerk, Kollergängen u. s. w. Da aber die Schlacken mit Stahlstücken durchsetzt sind, die bis 3 % ausmachen können, wurden alle diese Apparate übermäßig abgenutzt. Man brachte nunmehr Magnete an, um aus der grob zerkleinerten Schlacke die Stahlteile zu entfernen, auch dieses bewährte sich nicht, und schließlich ist man seit 1888 ganz allgemein zu den Kugelmühlen übergegangen, die ja jetzt auch in der Vermahlung der sonstigen Phosphate ihre Rolle spielen. Auch hier ist die Abnutzung der Apparate bedeutend, aber immerhin geringer, als bei jeder anderen Mahlvorrichtung. Mit 8—10 Pferdekräften mahlt man, je nach der Beschaffenheit der Schlacke 7500—10000 kg in 24 Stunden. Der Preis des Phosphatmehls betrug anfangs nur 2 Mark etwa für 100 kg. Doch hatten die Fabrikanten die Kosten des Mahlens bedeutend unterschätzt, und bis zum Jahre 1890 war er

auf etwa 4 Mark bei einem ungefähren Gehalt des Mehles an 18 % Phosphorsäure gestiegen. Jetzt ist es wieder bedeutend billiger.

Beim Verkauf des Mehles wird ein bestimmter Gehalt an Feinmehl garantiert. Die Analyse in der Beziehung wird so ausgeführt, daß 50 g Thomasmehl in einem Siebe, dessen Siebfläche nicht unter 20 cm Durchmesser besitzt und aus dem Drahtgewebe Nr. 100 von Amandus Kahl in Hamburg mit glattem Gewebe hergestellt ist, 15 Minuten lang mit der Hand oder mit einem geeigneten Schüttelwerke geschüttelt werden. Die Differenz, d. h. 50 g abzüglich des auf dem Siebe verbliebenen Rückstandes, ist der Feinmehlgehalt.

Beim Thomasphosphatmehl kommen also nur die Mahlkosten in Betracht, während in der Fabrikation des Superphosphats Schwefelsäure gebraucht wird und zu seiner Herstellung komplizierte Fabrikeinrichtungen nötig sind. Trotzdem sind beide keine eigentlichen Konkurrenten, sondern ergänzen einander mehr. Das billige Thomasphosphat eignet sich für leichte an Kalk arme Sandböden, hauptsächlich aber für Wiesen und Moorböden, auch beeinflußt es Kleefelder und schwere Lehmböden günstig. Superphosphat dagegen dient für die wertvolleren Cerealien, für Getreide und für Zuckerrüben, aber auch für Kartoffeln und wohl auch für Kalk- und Thonböden.

Der Preis der Phosphorsäure war im Anfang 1897 ein ganz besonders niedriger. Es kostete 1 kg citratlösliche Phosphorsäure im Thomasmehl 24 Pf. Im Doppelsuperphosphat mit 40—44 % wasserlöslicher Phosphorsäure kostete diese 47 Pf. per 1 kg, während sie in sonstigen Superphosphaten mit 33—35 Pf. bewertet wurde. Entleimtes Knochenmehl mit 1 % Stickstoff und 30 % Phosphorsäure oder 1,5 % Stickstoff und 28 % Phosphorsäure galt etwa 5 Mark per 100 kg, und im präzipitierten phosphorsauren Kalk wurde 1 kg Phosphorsäure mit etwa 30 Pf. bezahlt.

Der Guano. Wir gehen jetzt zum Guano über, als Mittelding zwischen Phosphorsäure- und Stickstoffdüngung.

Die Guanolager, von denen die an der Küste von Peru und den ihr vorliegenden Inseln namentlich den Chincha-Inseln die bedeutendsten sind, sind die Ansammlung der Exkremente von Meeresvögeln, die infolge der Regenlosigkeit dieser Küste sich zu Massen bis zu 60 m Dicke anhäufen konnten. Meistens ist die Schicht natürlich bedeutend dünner.

Was in solchem Guano alles steckt, wollen wir vorweg aus der Analyse ersehen, wie sie Öllacher seinerzeit ausgeführt hat.

In Wasser löslich	Oxalsaures Ammoniak	17,73 %
	Phosphorsaures Ammoniak	6,90 „
	Schwefelsaures Natron	4,92 „
	Schwefelsaures Kali	4,00 „
	Salmiak	2,25 „
	Humussaures Ammoniak	1,06 „
	Kohlensaures Ammoniak	0,80 „
	Kochsalz	0,40 „
		38,06 %
	Übertrag	38,06 %
In Wasser unlöslich	Phosphorsaurer Kalk	20,16 „
	Harnsaures Ammoniak	12,20 „
	Phosphorsaure Ammoniak-Magnesia	11,58 „
	Kohlensaurer Kalk	1,65 „
	Oxalsaurer Kalk	1,30 „
	Unbestimmte organische Substanz	9,01 „
	Sand und Thon	1,68 „
	Wasser	4,31 „
		100,00 %

Nach zahlreichen Bestimmungen, wie sie Gilbert ausgeführt hat, berechnete sich aus der Durchschnittszusammensetzung aller Handelsguanos im Jahre 1867 ein Mittelgehalt von 12,325 % Phosphorsäure und 12,063 % Stickstoff. Aus obiger Analyse sehen wir, daß die Phosphorsäure in unlöslicher Form in ihnen vorhanden ist. Ihre feine Verteilung läßt allerdings auch sie zur Wirkung kommen, jedoch nur sehr langsam und unbedeutend. Der Wert des Guanos als Düngemittel war übrigens den Eingeborenen Perus schon lange bekannt, die ihn sicher seit dem 12. Jahrhundert verwendeten. Nach Europa brachte Humboldt im Jahre 1802 Proben von ihm. Wenn nun auch viele Reisende hernach von seiner Verwertung in Peru berichteten, so war die Zeit für dieselbe hier noch nicht gekommen. Machte auch der Seetransport keine Schwierigkeiten, so war vor dem ausgiebigeren Bau der Eisenbahnen an den billigen Transport über Land bei einem solchen Massenartikel, wie ihn Düngemittel repräsentieren, nicht zu denken. Mit dem Jahre 1840 erst begann seine Einfuhr nach Europa, und der rohe Guano fand hier vielfach Verwendung. Zu einem zuverlässigen Düngemittel machte ihn aber erst die Firma

Ohlendorff & Co. in Hamburg, die im Jahre 1864 mit seiner Aufschließung durch Schwefelsäure begann. Diese sehr groß gewordene Fabrik ist seit etwa zehn Jahren in die Hände einer Aktiengesellschaft übergegangen.

Nach dem Aufschließen mußte der mit Schwefelsäure behandelte Guano, weil er sehr hart wurde, gemahlen werden; daran schloß sich von selbst das Sieben der gemahlenen Masse, so daß von jetzt ab der aufgeschlossene Peruguano in der für den Landwirt brauchbarsten, weil leicht auf die Felder streubaren Form in den Handel kam, wobei zugleich der Gehalt an Stickstoff und wasserlöslicher Phosphorsäure garantiert werden konnte.

Außer in Peru hat man noch an verschiedenen Stellen der Erde Guanolager gefunden, so an der Westküste Afrikas auf den Ichaboe-Inseln, ebenso traf man ihn in Westindien, auf den Falklandsinseln und in Patagonien an. Seitdem aber die Lager in Peru ziemlich ausgebeutet sind, hat er so sehr an Interesse verloren, daß er heute neben dem Superphosphat und den künstlichen Stickstoffdüngern fast keine Rolle mehr spielt. 1853 schätzte man die Menge des Guanos allein auf den Chincha-Inseln auf über 11 Millionen t, d. h. also auf eine Menge, die zu ihrer Fortschaffung reichlich 1 Million Eisenbahnwaggons braucht, und 1874 war fast nichts mehr von diesen Vorräten vorhanden. 1876 kamen noch 100000 t Guano nach Hamburg, 1882 9300 t und 1883 nur noch 2400 t.

Die Stickstoffdünger.

Wir kommen nun zu dem bei weitem merkwürdigsten Teil der ganzen künstlichen Düngemittellehre, der jetzt auch vollkommen aufgeklärt ist, den aufzuklären aber die Chemie allein nicht genügte, sondern zu dessen Aufhellung erst die genauen Kenntnisse der Gegenwart über das Verhalten von Bazillen nötig waren.

Wir haben oben erwähnt, daß der Pflanzenwuchs seinen Bedarf an Kohlenstoff mit Hilfe der Blätter aus dem Kohlensäuregehalt der Luft deckt. Nun enthält die Luft bekanntlich in 10000 Teilen nur 3 Teile Kohlensäure, aber diese verhältnismäßig geringe Menge genügt für allen Pflanzenwuchs, denn noch ist die Beobachtung zu machen nicht möglich gewesen, daß Pflanzen aus Mangel an Kohlenstoff weniger gut gediehen wären.

Haben nun die Pflanzen an Kohlenstoff keinen Mangel, so sollte man meinen, dann müssen sie hinsichtlich des Stickstoffs in kolossalstem Überfluß leben, denn 10000 Teile Luft enthalten bekanntlich rund 8000 Teile Stickstoff, und reichen 3 Teile Kohlensäure für den so bedeutenden Kohlenstoffbedarf aus, was werden da nicht 8000 Teile Stickstoff, die gleichzeitig mit dieser zur Verfügung stehen, für ihren geringen Stickstoffbedarf genügen.

Aber dem ist nun durchaus nicht so. Seinen Grund hat das einfach darin, daß der Stickstoff eine so außerordentlich indifferente Materie ist, d. h. so gar keine Neigung zeigt, sich mit anderen Stoffen zu verbinden (s. auch S. 436). So vermögen ihn denn auch die Pflanzen nicht direkt aus der Luft aufzunehmen und können nur mit ihren Wurzeln im Boden vorhandene wasserlösliche Stickstoffverbindungen sich nutzbar machen. Nimmt man nun an, daß der Luftstickstoff unter den Bedingungen, wie sie die Natur bietet, heutzutage kaum mehr in die Form wasserlöslicher Verbindungen übergeht, so muß man sich konsequenterweise auf den Standpunkt vor die Zeit Liebigs stellen. Denn dann ist der Pflanzenwuchs und damit alles organische Leben, weil die Tiere schließlich alle direkt oder indirekt von Pflanzen sich ernähren, dadurch beschränkt, daß ihm immer nur eine ganz bestimmte Menge wasserlöslicher Stickstoffverbindungen zur Verfügung stehen wird. Diese Anschauung finden wir z. B. noch in dem so ausgezeichneten und weit verbreiteten Lehrbuch der physiologischen und pathologischen Chemie von Bunge, welches im Jahre 1887 erschien, das also zur Zeit, wo wir dies schreiben, erst neun Jahre alt ist.

Dort heißt es mit vollem Recht, die chemischen Prozesse, welche Stickstoff in wasserlösliche Verbindungen überführen und damit für die Pflanzenernährung brauchbar machen, sind wenig ausgiebig. Sie beschränken sich darauf, daß bei Gewittern durch die elektrischen Entladungen eine Vereinigung des Stickstoffes mit dem Wasserdampf, d. h. mit der Feuchtigkeit der Luft, zu salpetrigsaurem Ammoniak stattfindet,

$$2\,N + 2\,H_2O = NH_4NO_2$$

Stickstoff + Wasser = salpetrigsaures Ammoniak

und daß dieser gleiche Prozeß in kaum nachweisbarem Maße sich auch bei der Verdunstung des Wassers an der Luft vollzieht. Nun heißt es weiter, daß aber durch die Verbrennung, z. B. von Holz, sehr viele Stickstoffverbindungen vollständig zerstört werden, indem ihr Stickstoff als solcher in die Atmosphäre entweicht, was einen uneinbringlichen Verlust bedeute. Schließlich weist er darauf hin, daß auch viel in chemischer Verbindung sonst vorhandener Stickstoff verloren gehe, namentlich der im Salpeter vorhandene, der doch beim Verpuffen von Schießpulver oder sonstigen Explosivstoffen, die alle mit Salpetersäure hergestellt werden, als solcher in die Luft entweiche. „Ein einziger Kanonenschuß", sagt er, „bei dem auch nur ein Pfund Schießpulver verbraucht wird, „zerstört so viel gebundenen Stickstoff, als in drei Millionen Liter atmosphärischer Luft enthalten ist. In diesem Sinne kann man behaupten, daß jeder Schuß eines Feuergewehrs tötet, ja daß er gleich viel Leben vernichtet, mag die Kugel ein lebendes Wesen treffen oder nicht. Denn durch den Tod des Individuums wird kein Leben zerstört; aus dem Zerfall des Körpers blüht ebensoviel neues Leben wieder empor. Wird aber gebundener Stickstoff zerstört, so ist definitiv das Kapital vermindert, von dessen Größe die Summe des Lebenden abhängt."

Nun, wir können heute, also wenige Jahre später, sagen, dies ist glücklicherweise nicht richtig, und wollen hier gleich auf die neuesten Forschungen auf diesem Gebiete, welche diese Anschauungen völlig widerlegen, eingehen. Diese neuesten Forschungen haben, wie schon S. 436 erwähnt, erwiesen, daß bei der Aufnahme des Stickstoffs durch die Pflanzen Bazillen eine ausschlaggebende Rolle spielen. Damit verhält es sich folgendermaßen: Im Ackerboden gibt es Bazillen, die mit der merkwürdigen Eigenschaft begabt sind, durch ihren Lebensprozeß Stickstoff mit Sauerstoff vereinigen zu können. Diese Stickstoffsauerstoffverbindungen vereinigen sich weiter mit im Boden vorhandenem Kali und ähnlichem zu salpetersaurem Kali oder entsprechenden Verbindungen, die als wasserlösliche Substanzen jetzt von den Pflanzen mit der Wurzel resorbiert werden können. Also die Natur schafft auf diesem Wege ununterbrochen auf den Feldern die für den Pflanzenwuchs nötigen wasserlöslichen Stickstoffverbindungen. Der Stickstoff ist für die Pflanzen ganz unentbehrlich, denn er dient ihnen zum Aufbau des sogenannten Pflanzeneiweißes, welches wie alles Eiweiß stark stickstoffhaltig ist und im Pflanzenleben gerade so die Lebensfunktionen bedingt, wie es das tierische Eiweiß im Tierleben thut. Hiernach können wir leicht ermessen, wie sehr Stickstoffmangel für die Pflanzen eine Verkümmerung bedeutet.

Daß dem Stickstoff im Pflanzenleben eine große Bedeutung zukommt, hatte man bei den Untersuchungen über die Düngemittel seit langem empirisch herausgefunden, und es war daher längst, bevor man die Arbeit der Bazillen im Boden kannte, durch die Praxis erwiesene Thatsache, daß das Düngen mit stickstoffhaltigen Substanzen den Pflanzenwuchs sehr befördert, indem es also, wie wir heute sagen können, die Bazillen sozusagen in ihrer Thätigkeit unterstützt und sie teilweise entbehrlich macht. Ersteres ist der Fall, wenn wir in Wasser unlösliche Stickstoffverbindungen dem Boden zuführen, die dann in ihm in lösliche übergehen sollen, letzteres wenn wir z. B. direkt den wasserlöslichen Chilisalpeter auf die Felder bringen. Den Chilisalpeter haben wir bereits ausführlich kennen gelernt (s. S. 439), und die zwei weiteren großen Lieferanten für den Stickstoffdünger, mit denen wir es nun zu thun haben, sind die Gasanstalten und neuerdings die Kokereien.

Die Kohlen, die in den Gasanstalten für die Zwecke der Gasbereitung in Retorten erhitzt werden, enthalten von ihrer ehemaligen Existenz als Holz her stets noch etwas stickstoffhaltige Substanzen. Dieser Stickstoff wird beim Erhitzen teils als solcher ausgetrieben, oder er entweicht aus den Retorten als Ammoniakgas oder in Form komplizierterer stickstoffhaltiger Verbindungen, teils bleibt er in den Koks.

Ammoniakgas ist eine Verbindung zwischen Stickstoff und Wasserstoff, und zwar ist in ihr ein Atom Stickstoff mit drei Atomen Wasserstoff verbunden.

Kohlen mögen durchschnittlich 1,5 % Stickstoff enthalten, und von 100 Teilen Stickstoff liefert die Gasfabrikation etwa in Form von

Ammoniakgas	14,5 %
Stickstoff	35,8 „ (welcher ins Leuchtgas mit übergeht).

Etwa 48,7 % von ihm bleiben in den Koks und 1,5 % gehen wieder in kompliziertere Verbindungen über, denen wir bei Besprechung des Steinkohlenteers noch begegnen werden.

Das Ammoniakgas ist in Wasser sehr leicht löslich, und, da man alles Leuchtgas zu seiner Reinigung mit Wasser wäscht (siehe beim Leuchtgas), befindet es sich schließlich in diesem Waschwasser, dem sogenannten Ammoniakwasser der Gasfabriken.

Während in den Gasanstalten die Verarbeitung der Kohlen auf Gas die Hauptsache und die Gewinnung von Koks als Rückstand in den Retorten nur Nebensache ist, liegen bei der Verwendung der Kohlen zum Ausschmelzen des Eisens im Hochofen die Verhältnisse ganz anders. Im Hochofen kann man keine Steinkohlen brauchen, weil diese in der Hitze teils erweichen, teils teerige Produkte aus ihnen ausschmelzen, welche, durch Verkleben des Inhalts des Ofens, das Durchpressen der Luft unmöglich machen würden. Deshalb müssen Steinkohlen, um im Hochofen verwendbar zu sein, vorher verkokt werden. Das thut man jetzt schon seit 200 Jahren. Die Einrichtung ist bis vor etwa 25 Jahren die gewesen, daß man die Kohlen so erhitzte, daß ein Teil verbrannte, wobei die erzeugte Hitze alle flüchtigen Bestandteile aus dem Rest austrieb, welcher Rückstand nach dem Abkühlen nun die Koks repräsentierte. Im großen ganzen also dieselben Verhältnisse, wie wir sie bei der Holzverkohlung im Meiler (s. S. 496) kennen lernten. So wie dort das Holz die Holzkohle liefert, liefern hier die Steinkohlen die Koks.

Nun hatte sich inzwischen herausgestellt, welch große Einnahmen die Gasanstalten heutzutage aus ihren Nebenprodukten, dem Teer und dem Ammoniakwasser, ziehen, und so geht man seit 25 Jahren darauf aus, die Verkokung der Steinkohlen für Hochofenzwecke ebenfalls so zu leiten, daß nebenbei Teer und Ammoniakwasser gewonnen werden, während das gleichzeitig entstehende Gas sofort in der Anlage als Heizstoff verbrannt wird, indem man es in dieser Form ausnutzt, ohne es besonders reinigen zu müssen, wie es in den Gasanstalten nötig ist.

Besonders bewährt hat sich das System der Öfen Hoffmann-Otto, welches seit dem Jahre 1883 in Betrieb gekommen ist. Während im Jahre 1884 in Deutschland nur 40 Koksöfen verschiedener Systeme mit Vorrichtungen zum Auffangen der Nebenprodukte versehen waren, waren es im Jahre 1892 schon 1205. Deutschland steht in dieser Beziehung sicher an der Spitze aller Eisen produzierenden Länder, obgleich die Gesamtzahl der Koks produzierenden Öfen damals allein in Deutschland 15 700 betrug, so daß noch nicht der zehnte Teil von ihnen mit Auffangevorrichtungen versehen war.

Das Prinzip nun der Gewinnung des Ammoniakgases aus den rohen Ammoniakwässern der Gasanstalten oder Kokereien ist folgendes. Diese Wässer werden mit geeigneten Zusätzen erhitzt, in der Hitze entweicht dann das Ammoniakgas aus ihnen und wird passend aufgefangen. Das Ammoniakgas ist basisch, es verbindet sich also mit Säuren, z. B. mit Schwefelsäure zu schwefelsaurem Ammoniak. Das ist auch die Art, in der es als Düngemittel Verwendung findet. Wir werden aber im Anschluß daran die sonstigen Formen, in denen es verwertet wird, ebenfalls besprechen, weil sich uns weiterhin keine Gelegenheit mehr dazu bietet.

Gehalt einiger Gaswässer an Ammoniakverbindungen.

	A	B
Unterschwefligsaures Ammoniak	0,1086 %	0,5032 %
Schwefelammonium	0,0840 „	0,6222 „
Doppeltkohlensaures Ammoniak	0,1050 „	0,2450 „
Einfachkohlensaures Ammoniak	0,4560 „	3,3120 „
Schwefelsaures Ammoniak	0,0462 „	0,1320 „
Salmiak	3,0496 „	0,3745 „

Dies ergibt an Ammoniakverbindungen in A 3,7948, in B 5,1889 %, welche in A 1,209 freiem Ammoniak, in B 1,812 % freiem Ammoniak entsprechen. Wir sehen also, die Gaswässer enthalten gar kein freies Ammoniak, und deshalb muß man es aus ihnen erst frei machen, um es aus der Flüssigkeit austreiben zu können. Das ist nun weiter keine schwere Aufgabe. In der Chemie treibt wie überall der Stärkere den Schwächeren vor sich her. Geben wir also zum rohen Ammoniakwasser ein stärkeres Alkali als das Ammoniak, so wird dieses sich mit den Säuren verbinden, und das Ammoniak wird in

Freiheit gesetzt sein. In der Technik verwendet man natürlich das billigste Alkali, also gebrannten Kalk, den wir bloß als solchen oder mit Wasser zu Kalkmilch angerührt zuzusetzen brauchen, um das Ammoniakgas austreiben zu können. Für diesen Zweck sind viele Apparate konstruiert. Außerordentlich leistungsfähig ist der von der Halleschen Maschinenfabrik und Eisengießerei gebaute von E. Pampe angegebene Apparat, dessen Abbildung uns diese Fabrik gütigst zur Verfügung gestellt hat. Er gehört zu denen, welche kontinuierlich arbeiten, und wird bis zu solcher Größe gebaut, daß in ihm 10000 l Ammoniakwasser stündlich, während sie ihn durchfließen, ihres Ammoniakgehaltes beraubt werden können.

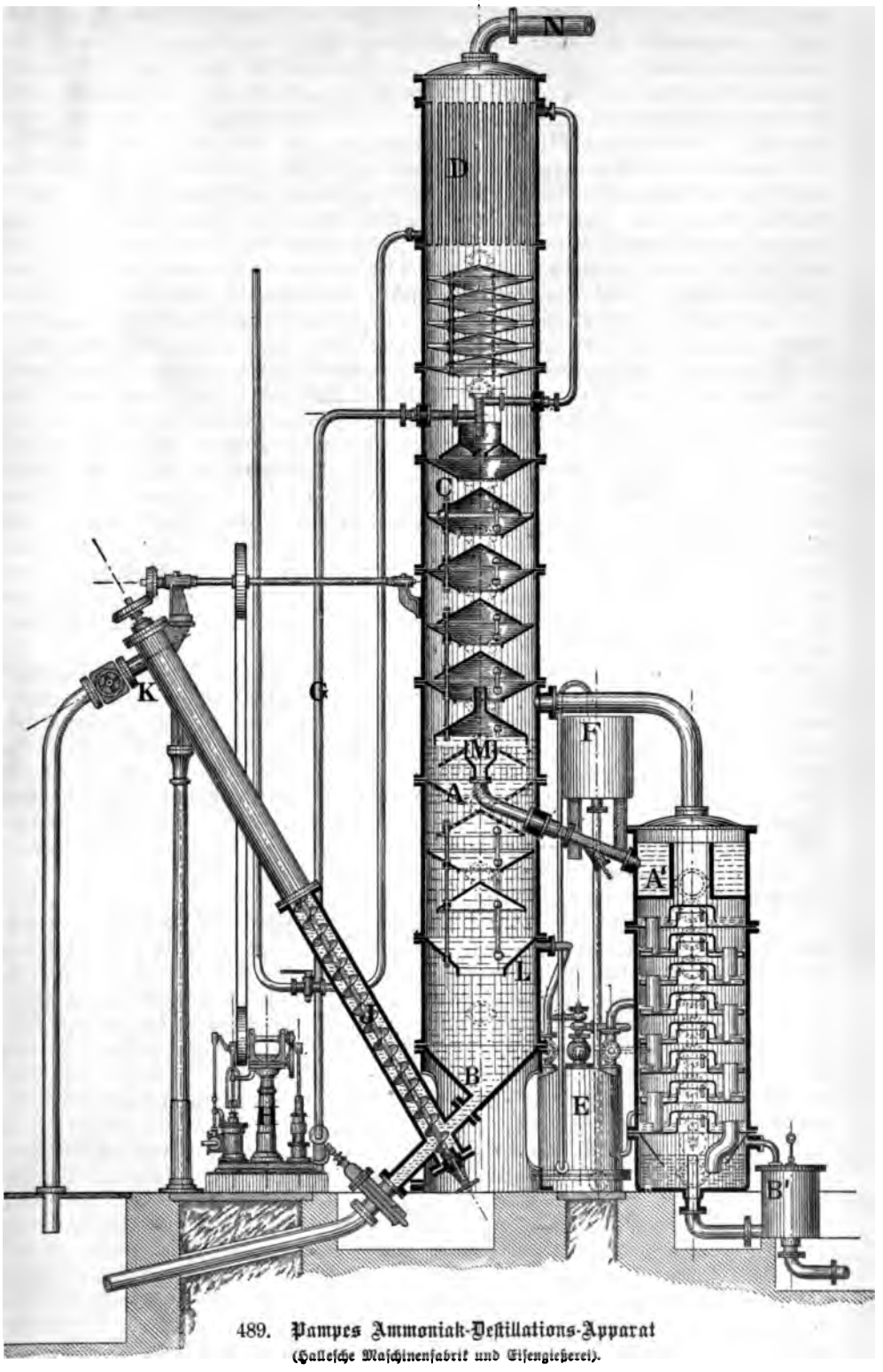
Folgendes sind seine Hauptteile. Die untere Destillationskolonne A, welche zugleich die Einrichtung B zur Abscheidung des Kalkschlammes hat. Daran schließt sich die obere Kolonne C, über welcher sich der Vorwärmer D befindet. Außerdem haben wir die seitliche Kolonne A^1 zu beachten, aus welcher schließlich durch B^1 das vom Ammoniak befreite Wasser abläuft, während E und F einen Dampfdruckregulator repräsentieren.

Das Ammoniakwasser gelangt von einem Reservoir, das höher als der Apparat liegt, und auf der Zeichnung nicht angegeben ist, in stets gleicher Menge in den Vorwärmer D und fließt dann durch die Rohrleitung G in die Destillationskolonne nach B. Auf dem Wege führt ihr eine kleine Druckpumpe H die nötige Menge Kalkmilch zu. Das Gemisch beider verteilt sich auf der Oberfläche einer Anzahl vertiefter und kegelförmig erhöhter Böden, von denen die vertieften Böden am inneren Rande, die erhöhten am äußeren Rande mit Zacken versehen sind, um die Verteilung der Flüssigkeit zu erleichtern. Durch die unten eingeleiteten heißen Dämpfe wird die Flüssigkeit allmählich bis zu der Grenze, bei der die Zersetzung der Ammoniaksalze erfolgt und das Ammoniak gasförmig ausgetrieben wird, erhitzt.

Der untere Teil dieser Kolonne ist ebenso konstruiert, wirkt jedoch nicht durch Oberflächenverdampfung, sondern ist bis zu einer gewissen Höhe mit Flüssigkeit gefüllt und enthält einesteils Ammoniakflüssigkeit, in der bereits das Ammoniak aus seinen Verbindungen ausgeschieden ist, anderseits Kalkschlamm, d. h. einen Kalkniederschlag, in dem ein großer Teil des Kalkes in kohlensauren Kalk, schwefelsauren Kalk u. s. w. übergegangen ist, indem er das Ammoniak aus seiner Verbindung mit diesen Säuren austrieb. Dieser Kalkschlamm, welcher sich aus der Flüssigkeit ausscheidet, lagert sich am Boden der Kolonne ab, von wo ihn eine Schnecke J kontinuierlich fortnimmt. Durch die Wirkung dieser Schnecke wird er hochgeführt und gleichzeitig von der dünnen Flüssigkeit geschieden. Der dicke Kalkbrei wird oben bei K herausgedrückt und von dort weiter abgeleitet.

Unten bei L tritt der Wasserdampf, den ein Dampfkessel liefert, ein, verteilt sich in der Flüssigkeit und nimmt Ammoniakgas auf, so daß der Kalkschlamm im untersten Teil des Apparates frei von Ammoniak ist. Die Verteilung des Dampfes ist besonders in dem oberen Teile der mit Flüssigkeit gefüllten Kolonne eine äußerst ruhige, so daß die klare Flüssigkeit sich vom Kalk trennen kann, sie fließt über den Rand des Trichters M in die seitliche Kolonne A^1. Im oberen Teil von A^1 ist ein ringförmiger Raum, in welchem die Flüssigkeit kurze Zeit der Ruhe überlassen bleibt, so daß die Kalkteilchen, welche dieselbe noch mitgeführt haben sollte, sich hier absetzen können. Die geklärte Ammoniakflüssigkeit fließt darauf durch die mit Glocken und Überlaufrohre versehenen Abteilungen dieser Destillationskolonne, wird hier endgültig vollständig von Ammoniak befreit und läuft dann selbstthätig durch B^1 in den Abflußkanal.

Das in A und A^1 entwickelte Gemisch von Ammoniakgas und Wasserdämpfen strömt durch C und gelangt schließlich in den Vorwärmer D, welcher nach Art der Röhrenkondensatoren konstruiert ist. In dem die Röhren umhüllenden Mantel derselben befindet sich das zu erwärmende rohe Gaswasser, während sich innerhalb der Rohre das Ammoniakgas aufwärts bewegt. Infolge dieser Montierung des Vorwärmers über der Kolonne C wirkt er als Rückflußkühler, bewirkt also, daß die mit dem Ammoniakgas aufsteigenden Wasserdämpfe sich zum großen Teil hier niederschlagen. Von D aus strömt das so oberflächlich entwässerte Ammoniakgas durch N weiter und wird nun in die verschiedenen Handelsprodukte übergeführt. So wie es den Apparat an dieser Stelle verläßt, ist es



489. **Pampes Ammoniak-Destillations-Apparat**
(Hallesche Maschinenfabrik und Eisengießerei).

noch nicht sehr rein, sondern ihm ist noch Kohlensäure und Schwefelwasserstoff beigemischt, resp. das Gasgemisch besteht aus Ammoniak nebst wenig kohlensaurem Ammoniak und Schwefelammonium, und außerdem enthält es empyreumatische Dämpfe.

Seine Verwendung findet es der Hauptmasse nach in drei Formen, als rohes Ammoniakwasser, reines Ammoniakwasser und in Form von Salzen, von denen wiederum das schwefelsaure Ammoniak an Massenhaftigkeit der Darstellung alle anderen übertrifft.

Um rohes Ammoniakwasser zu erhalten, hat man nichts weiter nötig, als das aus dem Apparate ausströmende Gas in Wasser zu leiten, es löst sich in ihm, und seine Beimischungen erteilen dem Wasser eine gelbe Farbe und dem ganzen einen vom Ammoniak verschiedenen häßlichen Geruch. In dieser Form wandert es in die Solvay-Sodafabriken für die Ammoniaksodafabrikation, und nach unseren Mitteilungen Seite 415 kann man sich vorstellen, welch bedeutende Massen hier Verwendung finden.

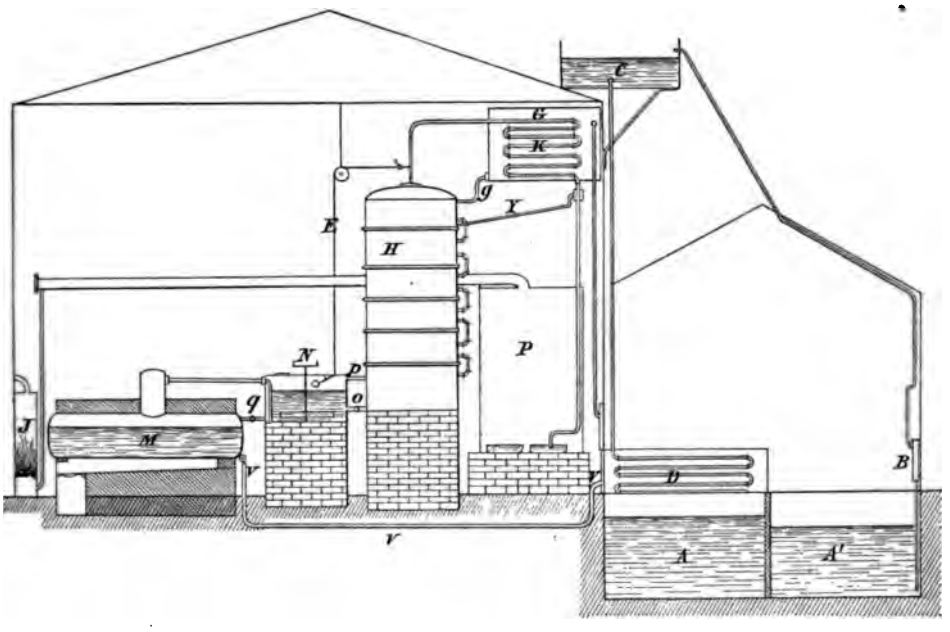
Die sonstigen Käufer von Ammoniakwasser, das im Publikum gewöhnlich mit dem Namen Salmiakgeist bezeichnet wird, verlangen es im Zustande möglichster Reinheit. Zu diesem Zwecke wird das dem Apparate entströmende Rohgas, wenn der Ausdruck erlaubt ist, durch drei bis vier hintereinander geschaltete Bottiche mit Kalkwasser geleitet. Diese kräftige Waschung entzieht ihm die Kohlensäure und den Schwefelwasserstoff, indem hier jetzt deren letzte Reste, die den Destillationsapparat noch passiert hatten, zur Absorption gelangen. Weiter wird nun der Gasstrom durch hohe Cylinder geleitet, die mit Holzkohlen gefüllt sind. Wir kennen bereits die Kraft solcher Kohle, entfärbend und auch absorbierend auf Gerüche zu wirken, die sich auch hier bewährt, und frei von Empyreuma tritt das Gas jetzt ins Wasser, welches es absorbiert. Nimmt man gar destilliertes Wasser, so erhält man ein sehr reines Produkt. Da bei der Absorption des Ammoniakgases durch das Wasser sich die Absorptionsapparate stark erwärmen, indem die latente Wärme des Gases zum Vorschein kommt, so kühlt man sie äußerlich mit Eis, woher der Name Eisgeist stammt.

Wir kommen nun zu den Ammoniaksalzen. Da sich für Zwecke der Düngung keines besser als schwefelsaures Ammoniak eignet, wird also dieses zumeist dargestellt, was in folgender Weise geschieht. Man läßt in konzentrierter Schwefelsäure eine Glocke aus Blei schwimmen, unter die man das Ammoniakgas leitet. Die Schwefelsäure befindet sich ihrerseits in einem mit Blei ausgeschlagenen Bottich. Die Absorption des Ammoniaks durch die Säure geht momentan vor sich, und es ist nicht schwer, auf diesem Wege das vom Handel verlangte von ungebundener Schwefelsäure völlig freie schwefelsaure Ammoniak herzustellen. Im Jahre 1896 betrug die Einfuhr an schwefelsaurem Ammoniak ins Deutsche Reich 32 061 t, die Ausfuhr 2200 t. Der Wert von 100 kg desselben war Ende 1896 etwa 16 Mark.

Da es bei dem für Düngezwecke bestimmten schwefelsauren Ammoniak auf etwas Geruch nicht ankommt, kann man zur Herstellung des Salzes in diesem Falle auch das Ammoniakgas verwenden, welches man bei der Destillation von Fäkalien mit Kalk gewinnen kann, ohne es viel zu reinigen. Wir wollen hier den zu diesem Zwecke von Chevalet konstruierten Apparat nach den Mitteilungen Truchots wiedergeben, wie er zur Verarbeitung von Kloakeninhalt dient, um zu zeigen, wie es möglich ist, selbst so wenig appetitliche Dinge noch auf chemischem Wege nutzbar zu machen.

Er findet seine Verwendung in solchen Städten, die nicht mit Schwemmkanalisation, wie das z. B. in Berlin der Fall ist, versehen sind, sondern die menschlichen Exkremente in Gruben sich sammeln lassen, die von Zeit zu Zeit entleert werden, wie es in Paris geschieht. Denn wenn auch die Schwemmkanalisation jedenfalls die erfreulichste Art der Fäkalienbeseitigung ist, so ist sie nationalökonomisch wohl nirgends rationell. Der Theorie nach werden allerdings die Dungstoffe alle auf den Feldern verwertet, nur liefert die Stadt sie jahraus jahrein, also vielfach zu Zeiten, in denen sie die Landwirtschaft gar nicht brauchen kann, und da die Abfälle doch beseitigt werden müssen, tritt hinter dieser eigentlichen Aufgabe der Städtekanalisation der landwirtschaftliche Betrieb der Rieselfelder so sehr zurück, daß auf einen im Verhältnis zu den Kosten erwähnenswerten Ertrag derselben nicht gerechnet werden kann.

Das Rohmaterial kommt hier in die Gruben A und A^1 (Abb. 490), in denen sich das Feste vom Flüssigen sondert. Das Flüssige wird sodann vermittelst einer Pumpe B und Rohrleitungen nach dem Hochreservoir C verpumpt. Von hier aus läuft die Flüssigkeit in ein Schlangenrohr D, welches in einem großen geschlossenen hölzernen Kasten, der als Vorwärmer dient, liegt. In diesen läßt man die bereits erschöpfte heiße Flüssigkeit aus dem Destillationsapparat vom Dampfkessel her laufen, um ihre Wärme noch auszunutzen, und es gelingt so, das das Schlangenrohr durchströmende Material auf 70° anzuwärmen. So vorgewärmt wird es nun nach dem Reservoir G hinaufgedrückt, in welchem wiederum ein Schlangenrohr K liegt. Das Innere dieses Schlangenrohres passieren die heißen Ammoniakdämpfe, welche die Destillation liefert. Die jetzt etwa 80° heiße Flüssigkeit gelangt durch das Rohr g in den Kolonnenapparat H, über dessen Platten sie hinabrieselt. Weiter gelangt sie durch das Rohr o in den Mischkessel, in welchem der Zusatz von Kalkmilch erfolgt, für dessen gute Verteilung der Rührer N sorgt. In diesen Mischkessel tritt auch



490. Apparat zur Gewinnung von Ammoniak aus Fäkalien nach Chevalet.

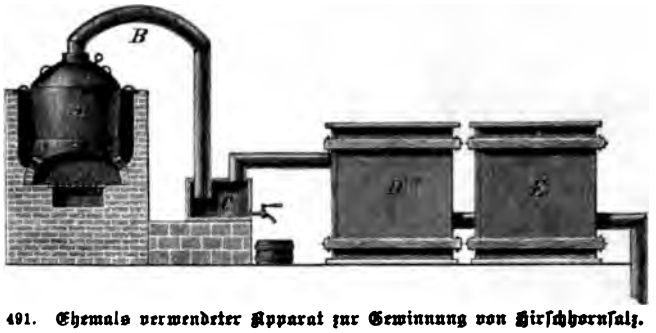
der Dampf aus dem Dampfkessel M, der genügt, den größten Teil des Ammoniaks gasförmig auszutreiben. Die schon fast ammoniakfreie Flüssigkeit läuft immer nach 4 Stunden durch das Rohr q in den eigentlichen Dampfkessel, um hier beim Auskochen ihre letzten Spuren von Ammoniak abzugeben. Die Rohrleitung v führt seinen ausgekochten Inhalt schließlich nach dem Vorwärmer, von wo er, nachdem er seine Wärme noch möglichst abgegeben hat, nunmehr als wertlos fortlaufen gelassen wird.

Der Weg, den die Ammoniakdämpfe zurücklegen, ist also folgender: Die aus dem Dampfkessel kommenden Dämpfe passieren den Kalkmischkessel und gelangen sodann durch das Rohr p in den Kolonnenapparat H, in welchem sie sich anreichern, worauf sie in den Schlangenkühler K gelangen. Von diesem aus läuft das kondensierte Wasser durch das Rohr Y in den Kolonnenapparat zurück, während das gasförmige Ammoniak weiter nach dem Raum P strömt, in welchem es in Schwefelsäure eintritt, um sogleich in schwefelsaures Ammoniak überzugehen. Aus dem geschlossenen Raume P strömen die nicht absorbierbaren übelriechenden Gase, die sich aus der zu verarbeitenden Flüssigkeit entwickeln, unter die Feuerung I, in welcher sie verbrennen, worauf sie geruchlos mit den Feuergasen in den Kamin entweichen.

Der Betrieb des ganzen Apparates würde gefährdet werden, wenn sich der Mischkessel völlig mit Flüssigkeit füllen könnte, diese würde dann durch das Rohr p in die Kolonne H steigen. Deshalb ist innerhalb desselben ein Schwimmer angebracht, welcher, sobald er eine gewisse Höhe erreicht, vermittelst der Schnur E ein Ventil schließt, das den weiteren Zufluß von Flüssigkeiten abstellt. 1000 l Flüssigkeit liefern etwa 8 kg schwefelsaures Ammoniak. Der feste Rückstand in den Gruben A, A' wird durch Eintrocknen in Poudrettedünger verwandelt.

In älteren Zeiten fand das schwefelsaure Ammoniak gar keine Verwendung, wurde gar nicht dargestellt, sondern zwei andere Ammoniaksalze spielten eine große Rolle. Diese sind das kohlensaure Ammoniak, gewöhnlich Hirschhornsalz genannt, und das salzsaure Ammoniak, von altersher Salmiak genannt. Man stellte Ammoniakverbindungen seit vielen Jahrhunderten für technische, namentlich für die Färbereizwecke dar. Infolge ihrer umständlichen Darstellung mußten sie verhältnismäßig teuer sein, und als Düggemittel zu haben sind sie erst seit der Verwertung des Gaswassers und ihrer Herstellung aus Fäkalien.

Die alte Zeit kam zum kohlensauren Ammoniak derart, daß sie stickstoffhaltiges Material, wie Wolle, Horn u. s. w., in geschlossenen Apparaten erhitzte, natürlich kamen diese Materialien als Lumpen, Abfall u. s. w. zur Verwendung. Im gußeisernen Kessel A (Abb. 491) wurden bis in die siebziger Jahre etwa 250 kg dieses Rohmaterials erhitzt.



491. Ehemals verwendeter Apparat zur Gewinnung von Hirschhornsalz.

In ihm hinterbleibt die Tierkohle, die ihre Verwendung in der Blutlaugensalzfabrikation fand (s. S. 333), während durch das Rohr B alles Flüchtige entwich. In C sammelte sich ein Teer, der den Namen Tieröl führt und sich durch einen ganz abscheulichen Geruch höchst unangenehm bemerkbar macht. In den beiden aus Sandsteinplatten gebildeten Kästen D und E sammelte sich das bei dieser Prozedur entstehende kohlensaure Ammoniak, welches seinen Namen Hirschhornsalz also daher führt, daß es auch aus Hirschhörnern auf diesem Wege bereitet werden kann. Es setzte sich bei dieser Fabrikation in festen Krusten an den Wänden der Kästen an, aus denen es nach ihrem Öffnen mit Meißeln loszuschlagen war.

Da das so erhaltene kohlensaure Ammoniak noch mit Teer durchtränkt war, wurde es durch Sublimation gereinigt. Die heutige Darstellung des Hirschhornsalzes geht vom Ammoniak aus. Manche Fabriken leiten kohlensaures Gas und Ammoniakgas in große Kammern, in welchen es sich dann aus diesen beiden Gasen bildet und absetzt. Andere verfahren so, daß sie schwefelsaures Ammoniak mit Kreide (kohlensaurem Kalk) und Holzkohle gemischt in Retorten erhitzen, worauf das sich bildende empyreumafreie Hirschhornsalz sich in an die Retorten angeschlossenen Kammern verdichtet. Es entsteht hier zufolge der Gleichung:

Schwefelsaures Ammoniak + Kohlensaurer Kalk = Hirschhornsalz + Gips.

Im Jahre 1896 betrug die Einfuhr an kohlensaurem Ammoniak ins Deutsche Reich 1925 t, die Ausfuhr 2340 t. Sein Preis war Anfang 1897 niedriger als jemals, nämlich 52 Mark per 100 kg.

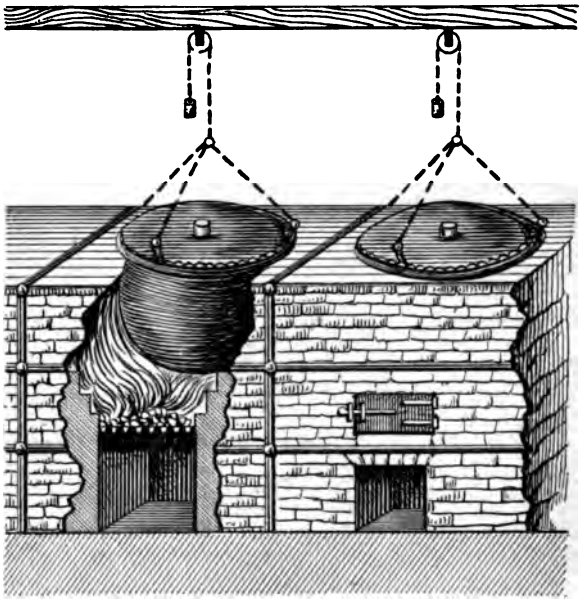
Wenn wir jetzt zum Salmiak übergehen, so kommen wir damit zu dem bei weitem am längsten gekannten Ammoniaksalz. Sein Name soll eine Abkürzung von sol ammoniacum, Salz aus der Oase des Jupiter Ammon, sein, und von ihm sprechen schon Plinius und Dioscurides. Wo der nach Europa importierte Salmiak, den die Färber namentlich brauchen, eigentlich herkäme, wußte man 2000 Jahre lang nicht recht. Erst der Geist-

liche Sicard brachte Aufklärung, indem er 1716 von Kairo aus schrieb. „Der beste Salmiak wird in Ägypten in einem Dorfe des Delta Namens Desmayers fabriziert, indem die dortigen Bewohner getrockneten Kamelmist, der vorher mit Urin öfters übergossen worden ist, in Glasballons unter Zugabe von Kochsalz erhitzen. Die Entstehung des Salmiaks erklärt sich hier also so, daß sich aus dem Stickstoffgehalt des Rohmaterials in der Hitze Ammoniak bildet, welches mit dem Chlor des Kochsalzes zu salzsaurem Ammoniak, zu Salmiak, zusammenzutreten Gelegenheit hat, der als solcher in den Hals der Flasche hinaufsublimiert.

Heutzutage verfährt man zur Salmiakdarstellung so, daß man Salzsäure mit Ammoniakgas sättigt, die sich als Säure und Base

Salzsäure + Ammoniak = Salmiak
HCl + NH_3 = NH_4Cl.

miteinander verbinden. Die erhaltene Lösung wird in Bleigefäßen konzentriert, weil Salmiaklösung beim Eindampfen Eisengefäße angreift, worauf der Salmiak auskryställisiert. Da man aber von alters her an sublimierten Salmiak gewöhnt ist, wird auch heute noch ein beträchtliches dieser Kryställe weiterverarbeitet, und man verfährt dazu jetzt etwa in folgender Art. Man gibt die gut getrockneten Kryställe in große gußeiserne Kessel, welche bis 9000 kg von ihnen fassen, und bedeckt die Kessel mit einem in der neuesten Zeit öfters innen vernickelten eisernen Deckel. Hierauf heizt man stark an, bis sich Salmiakdämpfe an einer Öffnung des Deckels zeigen. Jetzt bedeckt man diese und bedeckt den ganzen Deckel mit Decken als Wärmeschutzmittel. Bei sehr gelindem Feuer läßt man die Sublimation dann weitergehen, die bei der Größe dieser Kessel etwa eine Woche erfordert. Öffnet man hernach den Kessel, so bedeckt der Salmiak in Form harter Krusten seinen oberen Teil und wird losgeschlagen.



492. Sublimation des Salmiaks.

Weil wir das salpetersaure Ammoniak im Kapitel von den Sprengmitteln zu erwähnen hatten, wollen wir hier auch dessen Darstellung erörtern. Sie erfolgt jetzt so, daß man verdünnte reine Salpetersäure mit reiner Ammoniakflüssigkeit neutralisiert und die Lösung so weit eindampft, daß das Salz beim Erkalten auskryställisiert. Es ist so sehr wasserlöslich, daß es kaum umkryställisiert werden kann, weshalb man lieber von reinen Materialien ausgeht, und so die Prozedur der Reinigung auf diesem Wege vermeidet. Es läßt sich unschwer unzersetzt sublimieren, doch wird diese Eigenschaft technisch nicht verwertet.

Wir kehren nunmehr, nachdem wir die Gewinnung des Ammoniaks und die Möglichkeit seiner Beschaffung in den allergrößten Quantitäten kennen gelernt haben, zur Herstellung der künstlichen Düngemittel zurück.

Häufig haben wir jetzt gehört, daß tierische Abfälle sehr stickstoffreich sind, und so nimmt man diese ebenfalls zu Hilfe, wenn man sie billig haben kann. Dahin gehört getrocknetes Blut, Fleischmehl von gefallenen Tieren hergestellt, Hornmehl und ähnliches. Diese Substanzen kann man direkt dem Superphosphat beimischen, indem man sie mit

ihm den Desintegrator z. B. passieren läßt. Man hat aber auch auf andere Weise noch innigere Mischungen erzielt. So fein verteiltes stickstoffhaltiges Material, wie es die Scherwolle, jener bekannte Abfall der Tuchfabriken, z. B. ist, vermag konzentrierte Schwefelsäure leicht aufzulösen. Benutzt man hernach die auf diesem Wege stickstoffhaltig gewordene Schwefelsäure zum Aufschließen von Phosphat, so ist der Stickstoff sicherlich im Superphosphat aufs beste verteilt, und in gleicher Weise verteilt man auch das schwefelsaure Ammoniak und die Kalisalze in ihm, indem man sie (von Kalisalzen z. B. Kainit oder Chlorkalium) ebenfalls in der Schwefelsäure, bevor sie zum Aufschließen benutzt wird, auflöst.

Nicht so verfahren kann man mit dem Chilisalpeter, weil Schwefelsäure diesen schon in der Kälte zersetzt, indem sie die Salpetersäure aus ihm austreibt. Er kann daher nur dem fertigen Superphosphat beigemischt werden, für welchen Zweck besondere Mischmaschinen konstruiert sind. Hiernach sind uns nun die vier hauptsächlichsten im Handel befindlichen Arten von Stickstoffsuperphosphaten leicht verständlich. Man unterscheidet Ammoniaksuperphosphat, Salpetersuperphosphat, Ammoniak-Salpeter-Superphosphat und stickstoffhaltiges Superphosphat, letzteres wird also Blutmehl oder Hornmehl u. s. w. enthalten.

Nun zum Schluß noch die Angabe über den Verbrauch an Kunstdünger in der ganzen Welt, von welchem uns die Zahlen des Jahres 1894 zur Verfügung stehen.

	Tonnen zu 1000 kg		Tonnen zu 1000 kg
Deutschland	1 445 000	Großbritannien	1 000 000
Vereinigte Staaten von Amerika	1 225 000	Sonstiges Europa	800 000
Frankreich	1 000 000		

Deutschland verbrauchte in diesem Jahre speziell

	Tonnen zu 1000 kg		Tonnen zu 1000 kg
Superphosphate	500 000	Kalisalze	220 000
Thomasphosphate	350 000	Chilisalpeter	250 000
Knochenmehl	70 000	Präzipitierte Phosphate (s. S. 526)	5 000
Schwefelsaures Ammoniak	50 000		

Die Verwertung der Fette und Öle in der chemischen Industrie.

Alle Fette und Öle, um die es sich in der chemischen Industrie handelt, bestehen aus Fettsäuren und Glycerin bis auf ganz wenige Ausnahmen, und so ist ihre Differenz in chemischer Beziehung sehr gering und ihre Unterscheidung in Fette und Öle eine mehr äußerliche. Sind sie bei gewöhnlicher Temperatur, also etwa bei 15° flüssig, so nennen wir sie Öle. Schmelzen sie erst um 20° herum, so nennen wir sie bald Butter, bald Fett, es sei an die eigentliche Butter, die Kakaobutter und die Muskatbutter erinnert. Wir sehen, Butter nennen wir, abgesehen von dem aus Milch gewonnenen Nahrungsmittel, konsistentere Fette pflanzlichen Ursprungs, während wir die tierischen Ursprungs glattweg Fett nennen.

Das große Verdienst des französischen Chemikers Chevreul, der 1889 103 Jahre alt starb, ist es, die Zusammensetzung der Fette aus Fettsäuren und Glycerin erkannt zu haben. Sein berühmtes Buch, auf dem auch alle chemische Industrie der Fette basiert, erschien im Jahre 1823 zu Paris unter dem Titel „Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale“ („Chemische Untersuchungen über die tierischen Fette“). Von vielen anderen Ehrungen abgesehen, führen wir hier nur die 1873 von der englischen Society of Arts ihm verliehene Albertmedaille an, für seine „die Verseifung, die Färberei und die Landwirtschaft betreffenden Untersuchungen, welche einen so hervorragenden Einfluß auf die industriellen Künste der Welt ausgeübt haben.“

Die Fette dienen in der chemischen Industrie seit langem zwei Zwecken, diese sind die Seifenfabrikation und die Kerzenfabrikation, beides Industrien von gewaltiger Ausdehnung, die als Nebenprodukt Glycerin liefern. Ihnen hat sich als dritte Industrie in der Neuzeit die Überführung von Fetten in Kunstbutter, die sogenannte Margarine, zugesellt.

Und außerdem beschäftigt sich die chemische Industrie damit, nichttrocknende Öle in trocknende zu verwandeln, was zur Firnis- und Lackfabrikation führt, welches die Grundlage aller Ölmalerei ist.

Die Seifenfabrikation.

Fette bestehen also aus Fettsäuren und Glycerin. Auf welchem Wege und zu welchem Zwecke spaltet man sie nun in diese beiden Bestandteile? Die Verbindung dieser beiden Komponenten wollen wir uns einmal vorstellen nach Art des salpetersauren Ammoniaks z. B., das wir im vorigen Kapitel erwähnten. Behandelt man dieses mit einer starken Säure, z. B. Schwefelsäure, so erhält man schwefelsaures Ammoniak und Salpetersäure, behandelt man es mit einem starken Alkali, z. B. Kalk, so erhält man salpetersauren Kalk und Ammoniak. Gerade so wie das salpetersaure Ammoniak kann man nun durch Säuren oder Alkalien die Fette zerlegen. Diesen Prozeß der Zerlegung der Fette bezeichnet man mit dem Spezialnamen „Verseifung".

1. Kocht man Fette mit Natronlauge, so erhält man fettsaures Natron, d. i. harte Seife, und außerdem Glycerin.

493. Kessel mit direktem Feuer zum Ausschmelzen von Fett aus Talg.

494. Kessel mit Dampfheizung zum Ausschmelzen von Fett aus Talg.

2. Kocht man Fette mit Kalilauge, so erhält man fettsaures Kali, d. i. Schmierseife, und außerdem Glycerin.

3. Kocht man Fette mit Kalk, so erhält man fettsauren Kalk und außerdem Glycerin. Fettsaurer Kalk findet keine Verwertung als solcher, zerlegt man ihn seinerseits mit Schwefelsäure, so erhält man schwefelsauren Kalk, d. i. Gips, und freie Fettsäuren; die freien Fettsäuren, wie z. B. die Stearinsäure, dienen zur Kerzenfabrikation.

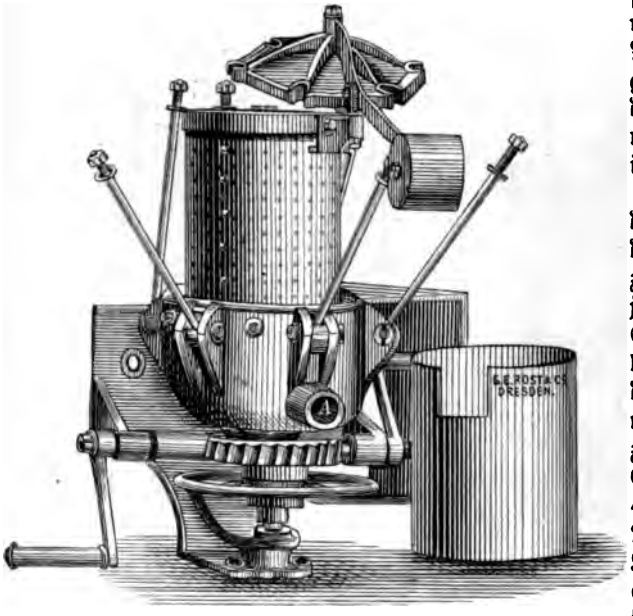
4. Kocht man Fette mit Säuren, z. B. Schwefelsäure, so spalten sie sich sogleich in Fettsäuren und Glycerin. Auch auf diese zweite Art werden die Fettsäuren für die Kerzenfabrikation hergestellt.

Hiermit haben wir uns die Grundlage der gesamten Seifen- und Kerzenindustrie vorgeführt, wie sie durch Chevreuls Arbeiten geschaffen worden ist. Wir gehen jetzt zur Seifenfabrikation über und müssen hierzu als erstes die wichtigsten in ihr verwendeten Fette, Öle und Harze kennen lernen.

Allen voran steht der Talg, wie man ihn durch Ausschmelzen des rohen Tierfettes erhält. Man bedient sich jetzt zumeist zum Ausschmelzen geschlossener etwa 1500 bis 3000 l fassender Gefäße, die mit einem Abzugsrohr für die häßlich riechenden Dämpfe versehen sind. Indem dieses Rohr unter einer Feuerung endigt, werden sie verbrannt, und die Belästigung der Umgebung ist so vermieden. Die Gefäße werden entweder direkt geheizt, oder auch durch Einleiten von Dampf, der eine Temperatur von

115—120° hat, erhitzt. Etwa 10% des Fettes bleiben an den Membranen des Fettes, Grieben genannt, hängen. Diese finden nach dem Auspressen ihre Verwendung als Viehfutter. Die Ausbeute an Talg beträgt etwa 85%.

Wir sehen auf unseren Abbildungen zwei derartige Kessel, einen zum Heizen mit direktem Feuer und einen zweiten für Dampfheizung, wie sie die Fabrik von C. E. Rost & Co. in Dresden konstruiert. Auch die nebenstehend abgebildete Presse wird von dieser Fabrik geliefert. Sie dient zum Auspressen der beim Ausschmelzen von Talg verbleibenden Rückstände und wird an der Wand oder auf dem Fußboden befestigt. Sie ist oben ganz frei zugängig, so daß die zu pressenden Stoffe bequem aufgegeben werden können, und nach vollendeter Pressung der Preßkuchen nach Abnahme des Deckels vermittels der Spindel vollständig in die Höhe gedrückt und entfernt werden kann. Der Betrieb der Presse erfolgt mittels zweier Handkurbeln, die durch eine auf ihrer Welle sitzende Schnecke ein Schneckenrad bewegen, welche auf die Preßspindel arbeitet. Das ausgepreßte Fett läuft in die an das Gestell angegossene Schüssel und von da aus durch A weiter in untergestellte Gefäße.



495 Spindelpresse zum Auspressen der beim Schmelzen von Talg verbleibenden Rückstände.

Um den Verlust an Fett, das an den Membranen trotz des Auspressens hängen bleibt, zu vermeiden, schmilzt man sie jetzt meist unter Zugabe von Schwefelsäure, welche die Membranen auflöst. Auch hierzu dient ein Kupferkessel, in den man 1200 kg Rohfett bringt, zu dem man 10 kg konzentrierte Schwefelsäure, die mit 300 bis 400 l Wasser verdünnt ist, setzt. Den hermetisch verschlossenen Kessel heizt man sodann mittels einer in ihm liegenden Dampfschlange und hält die Temperatur während $2\frac{1}{2}$ Stunden auf 110°. Jetzt sind die Membranen gelöst, und das klare Fett schwimmt auf der wässerigen Flüssigkeit. Nachdem es in hölzerne, verbleite oder kupferne Bottiche abgelaufen ist, wird es in diesen mit 50 l einer 10prozentigen Alaunlösung durchgearbeitet und nach achtstündiger Ruhe in hölzerne Kästen abgelassen, in denen es erstarrt. Auch hier ist die Ausbeute an Fett nur 85%, weil die Schwefelsäure etwas Fett verseift.

Ebenso wie Schwefelsäure zerstört auch Natronlauge die Membranen, und bei Anwendung dieser gestaltet sich das Verfahren folgendermaßen: 400 kg Rohfett werden mit 300 l etwa 3prozentiger Natronlauge unter Rühren und direktem Einleiten von Dampf in die Flüssigkeit durchgearbeitet. Nach 3 Stunden ist das Ausschmelzen beendigt. Man läßt die wässerige Flüssigkeit aus dem Kessel ablaufen, gibt 200 l Wasser zu, kocht wiederum auf und reinigt so das Fett. Die Ausbeute an ihm beträgt nur 80%, weil ebenfalls etwas Fett verseift wird.

Außer dem Talg der Tiere steht der Seifenfabrikation jetzt das Fett ihrer Knochen zur Verfügung. Wir haben dessen Gewinnung bei der Verarbeitung der Knochen auf ihre verschiedenen industriell verwertbaren Bestandteile (S. 514) ausführlich dargelegt. Für sich allein verarbeitet, gibt es keine guten Seifen, wohl aber läßt es sich in Gemeinschaft mit anderen Fetten gut verwenden.

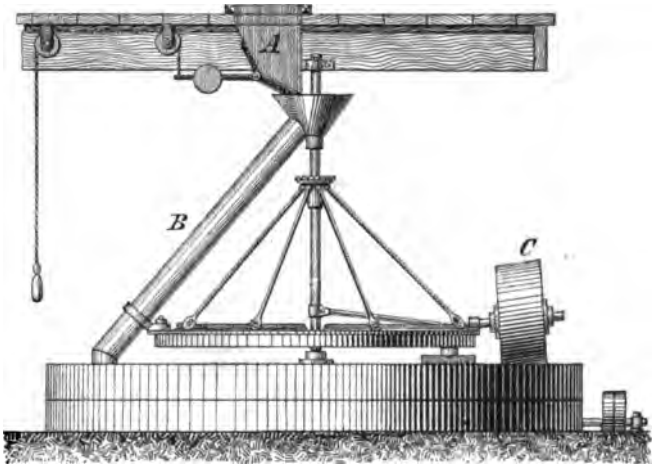
Die Benutzung des Schweineschmalzes in der Seifenfabrikation hängt ganz von seinem so schwankenden Preise ab. Ist dieser sehr niedrig, so wird es, da es sich zur Herstellung von Seifen sehr eignet, mit anderen Fetten zusammen verarbeitet.

Das Pferdefett, das hauptsächlich die Abdeckereien liefern, dient ebenfalls als Rohmaterial in der Seifenfabrikation. Durchschnittlich liefert ein Pferd, um das nebenbei zu erwähnen:

Getrocknetes Fleisch für die Düngemittelfabrikation (S. 515)	36 kg,
Knochen	62 „
Leder	36 „
Fett	30 „

Die mit seinem Fett hergestellten Seifen zeigen einen nicht unangenehmen süßlichen Geruch, und so verarbeitet man es gern mit anderem Material zusammen, dessen schließlicher Geruch verdeckt werden soll.

Außer diesen Fetten spielte ehemals der Thran der Walfische, Robben u. s. w. eine Rolle in der Seifenindustrie, während er heute fast nur noch in den Gerbereien Verwendung findet. Er diente zur Herstellung von Schmierseifen, da aber das Publikum unangenehm riechende Schmierseifen, und solche liefert der Thran, nicht mehr kauft, hat ihre Fabrikation aufgehört.



496. Kollergang zum Auspressen von Oliven.

Außer den tierischen Fetten benutzt, wie erwähnt, die Seifenindustrie die Pflanzenöle. Das am längsten verwendete ist das Olivenöl. Es wird bekanntlich aus den Früchten des Ölbaums, aus den Oliven, gewonnen, welcher bis zum 45.° nördlicher Breite gedeiht, daher in ganz Südeuropa vorzüglich fortkommt. Ein zehnjähriger Baum liefert 3 kg Oliven, ein 20jähriger 6 kg und ein 50jähriger 10—12 kg. Das reichlich in ihnen vorhandene Öl wird in Südfrankreich zumeist durch Auspressen mittels eines Kollerganges von folgender Einrichtung gewonnen. In den Kasten A kommen die Oliven und fallen von Zeit zu Zeit durch eine Öffnung in seinem Boden vermittelst des Rohres B auf den Boden des Kollerganges, wo sie der Mühlstein C zerquetscht. Von Pferden in Bewegung gesetzt, verarbeitet der Apparat 200 kg Oliven stündlich, während er, wenn er an eine Dampfmaschine gehängt wird, 800 kg in der gleichen Zeit ausquetscht.

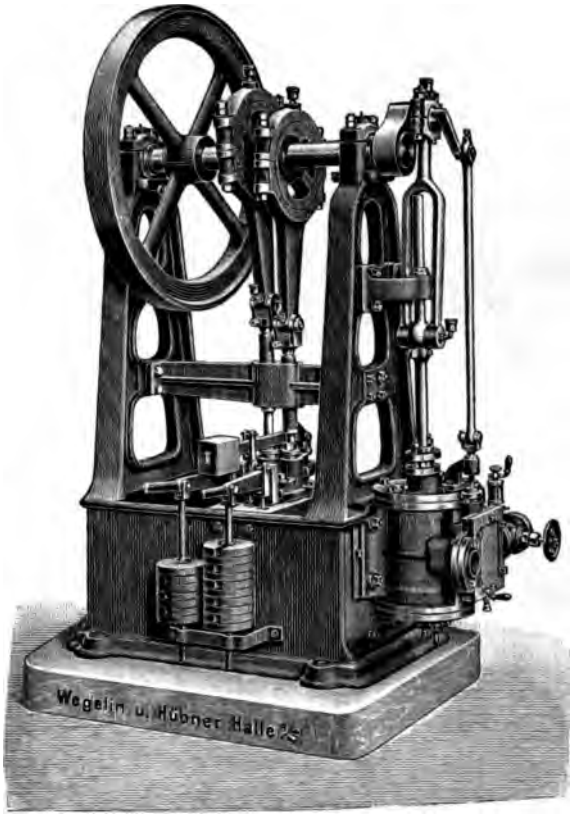
Eine andere Methode der Ölgewinnung ist die durch Pressen der Oliven in Säcken. Die erste kalte Pressung liefert das allerfeinste Speiseöl. Vor der zweiten Pressung wird jetzt der ganze Apparat angewärmt, und auch diese liefert noch reichlich Öl. Die Preßrückstände werden dann noch mit heißem Wasser ausgekocht, auf dem nach dem Erkalten fast der ganze Rest des in ihnen noch vorhanden gewesenen Öles schwimmt.

Einige Grade über 0 trübt sich Olivenöl, bei — 6° scheidet es etwa 20% fester Stoffe ab. Beim Erwärmen wird es bei 120° heller und erscheint bei 220° farblos, bei 328° beginnt es zu sieden und fängt jetzt an, dunkler zu werden.

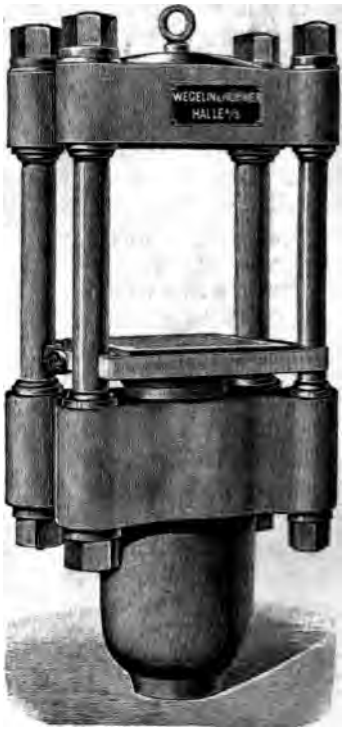
An das Olivenöl wollen wir das Leinöl reihen. Dieses wird aus den Leinsamen gewonnen, von denen 100 l etwa 60—68 kg wiegen. 100 kg dieser Samen geben durchschnittlich 28 kg Öl. Das durch kaltes Pressen gewonnene Leinöl ist hellgelb, das heiß gepreßte ist von dunklerer Farbe. Es erstarrt erst bei 27° unter 0°. Seine Verwendung in der Seifenindustrie findet es ausschließlich zur Schmierseifenfabrikation.

Von den weiteren zahlreichen Pflanzenfetten, die in der Seifenfabrikation Verwendung finden, wollen wir nur noch das Baumwollsamenöl, das Erdnußöl, weil wir diesen beiden in der Margarinefabrikation wieder begegnen werden, sowie das Palmöl und die Kokosbutter besprechen.

Zur Gewinnung von Baumwollsamenöl werden die Samen auf Maschinen zerkleinert, und wird sodann der eigentliche Kern von den Hülsen getrennt. Durch Pressen der Kerne unter dem kolossalen Druck hydraulischer Maschinen erzielt man eine Ölausbeute



497. Pumpwerk zur hydraulischen Presse.



498. Hydraulische Presse.

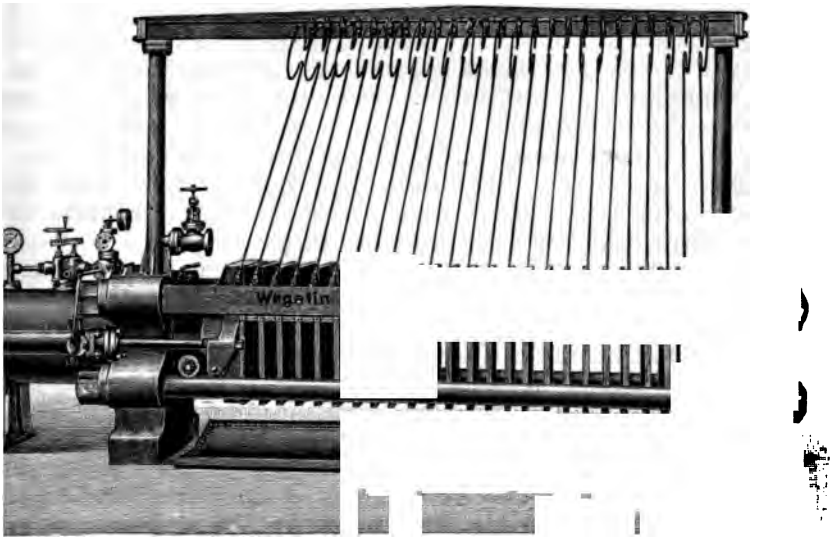
von etwa 13% des Gewichtes der Körner. Der Preßrückstand, die Baumwollsamenkuchen, dienen als Viehfutter. Wir geben hier die Abbildung einer hydraulischen Presse, wie sie ganz allgemein zur Gewinnung von Öl aus Pflanzensamen dient, wieder. Diese wird von Wegelin und Hübner in Halle gebaut. Wir sehen das außerordentlich kräftige Pumpwerk, dessen Pumpkörper aus zäher Phosphorbronze hergestellt ist, und daneben die hydraulische Presse. Ihre sauber gedrehten Säulen sind aus zähem Stahl hergestellt, während der Preßcylinder aus zähem Graueisen besteht, solange der Druck nicht über 300 Atmosphären hinausgehen soll, während für noch höhere Drucke auch er aus zähem Stahlguß gearbeitet wird.

Das Baumwollsamenöl ist eine gelbliche geruchlose Flüssigkeit und wird, wenn es sehr rein sein soll, raffiniert. In diesem Zustande dient es viel zum Verfälschen von Olivenöl, sowie in der Margarinefabrikation (siehe dort). Seine Hauptverwendung findet es aber in der Seifenindustrie. Man kann aus ihm sowohl harte, wie Schmierseifen darstellen. Die harten Seifen zeigen aber nach längerem Lagern einen unangenehmen Geruch.

Über die Gewinnung des Erdnußöles sei folgendes mitgeteilt: Es wird aus dem Samen der Erdnuß, einer zur Klasse der Leguminosen gehörigen Pflanze gewonnen.

sie in warmen Ländern hauptsächlich in Brasilien und Mexiko, aber auch am
n Algier, sowie in Spanien und Sizilien an. Im Juni sät man die Samen
Ende Oktober ist Ernte. Ein Hektar liefert etwa 7000 l Schoten im Gewichte
kg. Jede Schote enthält 2 Samenkörner etwa von der Größe einer Bohne.
chälte Samen liefern zwischen 45 und 47 kg Öl. Zu seiner Gewinnung werden
gepreßt, und zwar erhält man bei der ersten Pressung etwa 30 kg, bei der
kg, bei der dritten 7 kg Öl.

Öl der ersten Pressung ist fast farblos und völlig geruchlos; es dient als
vurde aber auch in großen Mengen in der Margarinefabrikation verwendet, bis
umwollsamenöl hier verdrängte. Seitdem das Gesetz es aber als Zusatz zur
, damit diese durch die Analyse leicht erkannt werden kann, vorgeschrieben hat,
n Deutschland wieder viel Verwendung. Das Öl der zweiten Pressung liefert
eniger feines Speiseöl, es dient auch schon als Brennöl, während das dritte Öl,
rch Heißpressen erhalten wird, zur Seifenfabrikation dient. Die hydraulischen
e die Heißpressung werden meist liegend konstruiert. Die hier abgebildete hat
itung in allen Preßplatten. Auch hier muß bestes Material zur Verwendung



499. Horizontale hydraulische Warmpresse.

um dem hohen Druck widerstehen zu können. Die mit Dampf heizbaren
n haben gebohrte Dampfkanäle und sind sämtlich vermittelst kupferner Kompen-
ce und eigenartig konstruierter Maschinenelemente mit einem Hauptdampf-
rohre verbunden. Dadurch, daß Stopfbüchsen zwischen dem Hauptdampfrohre
reßplatten vollständig vermieden sind, ist ein Lecken der Dampfzuführungsrohre
zelnen Preßplatten ausgeschlossen. Die Verbindungsrohre folgen trotzdem in-
eigentümlichen Form den Preßplatten sehr leicht.

Palmöl stammt von verschiedenen Palmbäumen, deren Früchte reich an Öl
meiste Palmöl kommt von der Guineaküste Afrikas und aus Guayana in Süd-
Man läßt die taubeneiergroßen Früchte ein wenig faulen, zerreibt sie sodann,
eine entfernen zu können, und preßt jetzt das Fruchtfleisch in meist primitivster
Das Palmöl, das in seinen heißen Ursprungsländern ölig bleibt, erstarrt in
itterähnlich. Seine Farbe ist rötlich-gelb, und sein Geruch erinnert, wenn es
g geworden ist, an Veilchen.

ehr harten Steine der Früchte umschließen einen Kern, der an 50% Öl ent-
ı dieses wird gewonnen und ist unter dem Namen Palmkernöl im Handel, es

ist von weißer Farbe und dient ebenfalls zur Seifenfabrikation, während es von den Eingeborenen Guayanas als Butter gegessen wird. Die Menge des nach Europa, namentlich England importierten Palmöls ist ganz enorm.

Das Kokosnußöl entstammt den Früchten der Kokospalme, von der man jetzt 20 Arten unterscheidet. Die in den Nüssen vorhandene Kopra wurde ehemals an Ort und Stelle zur Fabrikation von Öl verwendet, von dem sie über 70% enthält, kommt aber heute in gewaltigen Quantitäten als solche nach Europa, um hier ausgepreßt zu werden. Das Öl ist so leicht verseifbar, daß man es gar nicht mit den Laugen zu kochen braucht, um es in Seife zu verwandeln, sondern schon ein Anwärmen mit diesen genügt, um den Zweck zu erreichen.

Vielleicht ist es nicht uninteressant, den Ertrag einer Kokospalmenpflanzung im Vergleich zur Ertragsfähigkeit unseres heimatlichen Bodens hier anzuführen: es liefert nämlich 1 ha, auf dem 225 Bäume Platz haben, 800 kg Öl jährlich, während 1 ha Rübsen 700 kg Rüböl liefert, kurzum dem Gewichte nach sind die Unterschiede keine so bedeutenden, aber wie viel mehr Arbeit und Intelligenz erfordert der jährliche Anbau der Rübsen im Verhältnis zum Wachstum der Kokospalmen.

Als letztes der Pflanzenfette wollen wir die Kakaobutter besprechen. Sie wird bei der Verarbeitung der Kakaobohnen zu Kakao und Schokolade gewonnen, indem man die Bohnen, bevor sie zu dieser Fabrikation dienen, in Pressen, die auf 100° erwärmt sind, auspreßt. Die bei gewöhnlicher Temperatur butterähnliche Masse läuft hierbei als Öl aus den Pressen ab. Bei längerem Liegen verliert sie ihre anfangs gelbe Farbe und wird weiß. Ihr Geruch ist der des Kakaos. Sie wird nur schwer ranzig, aber ihr Geschmack läßt ihre Verwendung als Nahrungsmittel ausgeschlossen erscheinen.

Außer den erwähnten Pflanzenölen und Pflanzenbuttern, welche die bei weitem wichtigsten sind, findet noch eine ganze Anzahl anderer Verwendung in der Seifenindustrie, die wir aber nicht mehr aufzählen wollen.

Beim Auspressen der Samen hinterbleiben in den Pressen die Preßkuchen, von denen allein der Kakao zur menschlichen Nahrung Verwendung findet. Die anderen Preßkuchen hingegen dienen alle als Viehfutter, wozu sie sich infolge ihres hohen Gehalts an Proteinstoffen, das sind Eiweißstoffe pflanzlichen Ursprungs, ausgezeichnet eignen. Selbst die besten Pressen können ihnen nicht alles Öl entziehen, indem ein wenig von diesem doch immer die Kuchen durchtränken wird.

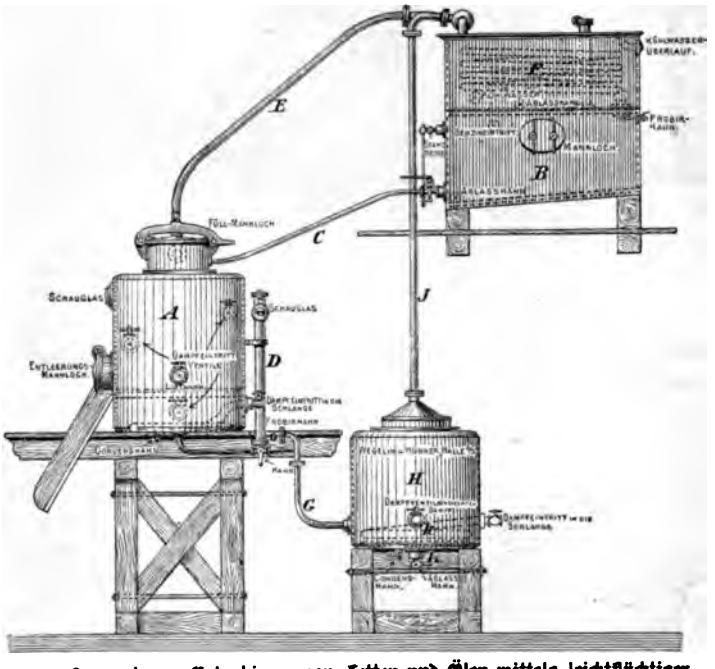
Die Gewinnung auch dieses Teiles der Öle ist aber sehr wohl möglich und erfolgt so, daß man sie aus dem schließlich erhaltenen Kuchen mittels Lösungsmittel wie Benzin, Schwefelkohlenstoff (s. S. 386) oder Äther z. B. extrahiert. Man kann aber auch in diesen Apparaten das Rohmaterial direkt extrahieren. Bei der Fettgewinnung aus Knochen haben wir die Apparate von Seltsam und Richters erwähnt (S. 514), hier geben wir die Abbildung eines weiteren wieder, wie er für diese Art der Ölextraktion Verwendung findet und von Wegelin und Hübner in Halle geliefert wird.

Er setzt sich aus dem Extraktionsgefäß A zusammen, welches etwa 1000 l faßt. In dieses kommen die zu extrahierenden Samen, die, falls es notwendig ist, vorher zerkleinert werden, oder die schon vorgepreßten Kuchen. Das Material bleibt auf dem durchbrochenen falschen Boden liegen. Sodann läßt man aus dem Reservoir B durch das Rohr C das zur Lösung der Fette oder Öle bestimmte Mittel einfließen, z. B. Schwefelkohlenstoff oder Petroleumbenzin. Mit Hilfe des Rohres D läßt man jetzt Dampf in eine Schlange treten, welche auf dem falschen Boden liegt. Bald gerät das Extraktionsmittel ins Sieden, und seine Dämpfe gelangen durch das Rohr E in die Kühlschlange F, in welcher sie sich wieder verflüssigen, worauf sie ins Reservoir B zurücklaufen. Die heiße Extraktionsflüssigkeit läßt man durch das Rohr G nach dem Kessel H laufen. Auch in diesem liegt eine Dampfschlange, welche das Lösungsmittel durch das Rohr J dampfförmig in die Kühlschlange treibt, so daß es auch von diesem Kessel aus ins Reservoir B zurückgelangt. Das jetzt in H rückständig bleibende Fett hält aber noch ein wenig Lösungsmittel zurück, welches man durch direkten Dampf, der durch das Ventil K einströmen kann, austreibt. Nach dieser Behandlung läßt man es durch den Ablaßhahn L ablaufen. Zur völligen

Extraktion des Rohmaterials kann man diesen Prozeß mehrmals wiederholen, oder auch ununterbrochen ein wenig von dem Lösungsmittel durch das Rohr C nach dem Kessel A, und von diesem aus ein wenig der mit Fett gesättigten Lösung durch das Rohr G nach dem Kessel H fließen lassen.

Auch das im Kessel A genügend extrahierte Rohmaterial wird durch einen direkten Dampfstrom vom Reste des Lösungsmittels befreit, bevor es aus ihm entleert wird. Die Rückstände pflegen nur noch 1—1½ % Fett zu enthalten. Sechs Arbeiter und der Dampf eines 12pferdigen Dampfkessels bringen bis 2500 kg Öl täglich mit dem Apparate fertig.

Obgleich Schwefelkohlenstoff leichter Explosionen als Benzin veranlaßt, zieht man meist ersteren vor, indem Benzin Fette, die sich an der Luft oxydiert haben, stark verharzt sind, wie man sagt, kaum löst, während Schwefelkohlenstoff auch sie mit Leichtigkeit extrahiert. Da nun Palmkernöl besonders leicht oxydierbar ist, und bei der Art der Ansammlung der Früchte und der Länge des Versandweges, den sie zurückzulegen haben, auch das Öl schon in den Palmkernen häufig etwas verharzt ist, bedienen sich gerade die Palmkernölfabriken mit Vorliebe des so feuergefährlichen Schwefelkohlenstoffs.



500. Apparat zum Extrahieren von Fetten und Ölen mittels leichtflüchtiger Lösungsmittel. (System Wegelin & Hübner.)

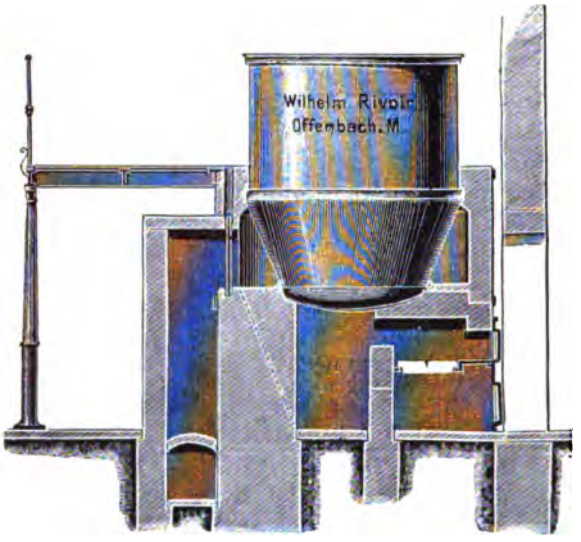
Außer den Fetten werden in der Seifen-Industrie große Mengen Harz, speziell Kolophonium verbraucht. Das aus Fichten, Tannen u. s. w. ausschwitzende oder aus Einschnitten aus den Bäumen auslaufende Terpentin gibt bei der Destillation das Terpentinöl, während der Rückstand, der in der Blase bleibt, das Kolophonium ist. Dieses ist im chemischen Sinne sauer, indem es sich in Alkalien löst. Daher kann es mit den Fetten zusammen, wenn sie durch Kochen mit Alkalien verseift werden, aufgelöst werden.

Die in der Seifenindustrie verwendeten beiden Laugen, die Natronlauge oder Lösung des Ätznatrons in Wasser, und die Kalilauge oder Lösung des Ätzkalis in Wasser, haben wir bereits früher (S. 309 u. 324) ausführlich kennen gelernt.

Heute kauft der Seifenfabrikant beide von den chemischen Fabriken und braucht das Ätznatron oder Ätzkali nur in Wasser aufzulösen, um eine beliebig starke Lauge zu haben. Anders in alten Zeiten, wo er nur auf Pottasche (s. S. 332) angewiesen war. Diese wechselte jedenfalls außerordentlich hinsichtlich ihres Gehaltes an kohlensaurem Kali. Um sie ätzend zu machen, mußte er sie sich selbst in Wasser auflösen und gelöschten Kalk zugeben, damit sie durch diesen entsprechend der Gleichung

Kohlensaures Kali	+	Ätzkalk	=	Ätzkali	+	Kohlensaurer Kalk
K_2CO_3	+	$Ca(OH)_2$	=	$2\,KOH$	+	$CaCO_3$

in Ätzkali überging. Schon das allein mag manchem Seifensieder bis in dieses Jahrhundert hinein, falls ihm schlechte, d. h. an kohlensaurem Kali-arme Pottasche geliefert wurde, manch mühevollen Tag bereitet haben, wenn er keine genügend starke Lauge aus ihr erhalten konnte. Nachdem die erste Lauge von dem unlöslichen kohlensauren Kalk abgelaufen war, goß man noch zweimal Wasser auf diesen, um ihn auszuwaschen. Die erste, stärkste Lauge hieß — und der Name mag sich noch in manchen Fabriken erhalten haben — die Feuer- oder Meisterlauge, die zweite Lauge hieß die Abrichtelauge, und die dritte wurde an Stelle von Wasser bei der Herstellung neuer Lauge verwendet. Schon der Name der ersten Lauge deutet auf den geheimnisvollen Respekt hin, den man vor ihr hatte.



501. Halbcylindrischer Siedekessel.

Da die Sodafabrikation, welche das Ätznatron liefert, erst seit 70 Jahren etwa (s. S. 362) existiert, mußte alle Seife ehemals mit Ätzkali hergestellt werden. Nun wissen wir, daß Kaliseifen nie erhärten, sondern Schmierseifen sind. Dieselben lassen sich aber durch Aussalzen in feste Seifen verwandeln. Setzt man zur Kaliseife, also fettsaurem Kali, Kochsalz, so bildet sich nach der Gleichung:

Fettsaures Kali + Chlornatrium = Fettsaures Natron + Chlorkalium
Schmierseife + Kochsalz = Harte Seife + Chlorkalium

durch dieses „Aussalzen" aus der Schmierseife harte Seife. Wir können das auf Grundlage unserer chemischen Kenntnisse jetzt leicht verstehen. Was mögen sich aber denkende Seifenfabrikanten vor dem Erscheinen der Arbeiten von Chevreul über den Grund der erhärtenden Kraft des Kochsalzes auf Schmierseifen den Kopf zerbrochen haben.

502. Mischkessel mit Rührvorrichtung. (Wilhelm Rivoir in Offenbach.)

Das Behandeln der Fette und Harze mit der Lauge findet in schmiedeeisernen Kesseln statt, deren Inhalt bis zu 20000 l ansteigt, wenn auch meist 10000 l nicht überschritten werden. Wir geben hier die Abbildung eines solchen, wie ihn Wilh. Rivoir in Offenbach liefert, wieder. Wir sehen einen großen Teil des Kessels aus der Feuerung herausragen, und dieser Teil dient dazu, das Übersteigen des während des Kochens stark schäumenden Inhalts unmöglich zu machen. In manchen Fabriken kocht man mit Dampf statt mit direktem Feuer. Und zwar kann man den Dampf entweder in die zu verarbeitende Mischung einströmen lassen oder auch diese durch eine in ihr liegende Dampfschlange erhitzen, um die Verdünnung des Sudes durch Wasserdampf zu vermeiden. Die Herstellung mancher Seifen, namentlich solcher, bei denen Harz mit zur Verwendung gelangt, erfordert ein sehr inniges Mischen der Materialien, und zu dem Zwecke dienen mit besonderen Rührvorrichtungen versehene Mischkessel.

Die Herstellung der Schmierseife, als der ältesten bekannten Sorte, wollen wir nun zuerst klarlegen. Zu ihrer Gewinnung brachte man ehemals Thran, später Hanföl, bringt jetzt aber meistens Leinöl in den Siedekessel und setzt die zur Verseifung nötige Menge Kalilauge portionsweise zu, indem man mit den einzelnen Portionen gut durchkocht. Die Praxis hat schon lange ergeben, daß die Seifen besser ausfallen, wenn man in der Kalilauge etwas kohlensaures Kali läßt, sie also nicht völlig mit Kalk ätzend macht. Der kochende Seifenleim schäumt namentlich anfangs sehr stark, später kann man aus der Art seines Kochens den Verlauf und den Endpunkt des Prozesses erkennen. Reine Kalischmierseifen können bei Sommertemperatur geradezu zerfließen, und so setzt man heutzutage im Sommer bei ihrer Herstellung etwas Natronlauge zu. Die infolgedessen sich bildende Menge harter Seife nimmt ihr durch ihre Gegenwart diese sehr störende Eigenschaft. In solche Schmierseife kann man noch reichlich Natronwasserglas oder auch Lösungen von schwefelsaurem Kali und ähnlichem hineinmischen, ohne daß ihr Aussehen sich viel ändert, die, wenn sie auch an und für sich für den Zweck der Seife ganz wertlos sind, dennoch als billiges Füllsel sie möglichst billig zu verkaufen ermöglichen, und so dem Wunsche der Käufer oder Käuferinnen entgegenzukommen gestatten.

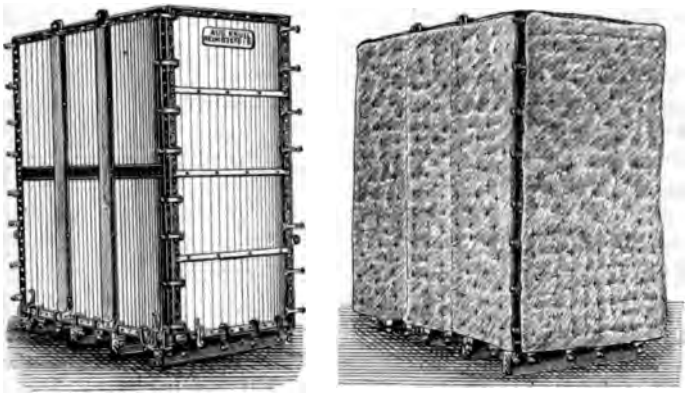
Die Herstellung harter Seifen, deren Anzahl sehr groß ist, erfolgt nach mehreren Methoden, da die verschiedenen Fette und Öle nebst dem Harz voneinander abweichende Behandlungen erfordern oder zulassen. Die älteste aller harten Seifen ist die Talgkernseife, und ihre Fabrikation ist folgende, je nachdem man von Kalilauge ausgeht, oder direkt Natronlauge verwendet. Man gibt in den Siedekessel den Talg mit einer zu seiner Verseifung ungenügenden Menge Kalilauge, worauf beim Erhitzen bald Einwirkung auf das Fett eintritt. Durch allmähliche Weiterzugabe von Lauge erreicht man die völlige Verseifung, und der siedende Inhalt stellt eine gleichmäßige durchsichtige Masse, den Seifenleim, dar, der nunmehr ausgesalzen werden muß. Um dies zu erreichen, fügt man jetzt portionsweise Kochsalz zu, nach dessen genügendem Zusatz ein Gerinnen der Seife eintritt, die als halbfeste Masse schließlich auf einer sich abscheidenden Unterlauge schwimmt. Indem die Natronseife, also die harte Seife, nämlich in Kochsalzlösung unlöslich ist, entzieht das Kochsalz dem Seifenleim Wasser und bildet so die Unterlauge, die nunmehr außer dem Überschuß an Kochsalz Chlorkalium und auch das Glycerin des verseiften Fettes enthält.

Hat sich die Unterlauge gut abgesetzt, so läßt man sie durch einen Hahn ablaufen und bringt die erstarrte Seife durch erneutes Anwärmen wiederum in Fluß, und ein nochmaliger Zusatz von Salz bewirkt jetzt völliges Aussalzen. Durch weiteres starkes Kochen, bei welchem sie sehr stark schäumt, wird noch so viel Wasser verdampft, daß sie schließlich eine dickliche Beschaffenheit zeigt. Nach mehrstündigem Stehen hat sich sodann der Rest der Unterlauge abgesetzt, worauf die Seife nach dem Erkalten fertig ist. Auf diesem Wege verarbeitet liefern 100 kg Talg etwa 150 kg Kernseife.

Dieses umständliche und durch Verwendung von Kalilauge recht teure Verfahren ist jetzt fast ganz verlassen und dient fast nur noch zur Herstellung guter Rasierseifen, von denen ein so starkes Schäumen verlangt wird, wie es dieser Seifenart eigentümlich ist. Heute bedient man sich zum Verseifen des Fettes vielmehr der Natronlauge und kommt so direkt zum fettsauren Natron, zur harten Seife. Auch hier verfährt man so, daß man das Fett durch Kochen mit der allmählich zugegebenen Natronlauge verseift und die Seife sodann aus der erhaltenen Flüssigkeit, um ihr möglichst Wasser zu entziehen, durch Kochsalz aussalzt. Die Unterlauge läßt man nach dem Absetzen großenteils ablaufen und siedet dann die Seife klar. Auch bei dieser Art der Verseifung tritt beim Fertigsieden sehr starkes Schäumen ein.

In wenig abweichender Weise werden auch Olivenöl, Palmöl u. s. w. zu harten Seifen verarbeitet. Soll Harz mit verarbeitet werden, so verfährt man so, daß man erst die Fette, z. B. 900 kg Talg und 100 kg Palmöl, mit Natronlauge verseift, hierauf die Seife aussalzt und die Unterlauge abläßt. Zu der im Kessel hernach weiter siedenden Seife setzt man 1000 kg Harz und gibt so viel starke Natronlauge zu, als dieses Harz zu seiner Lösung erfordert.

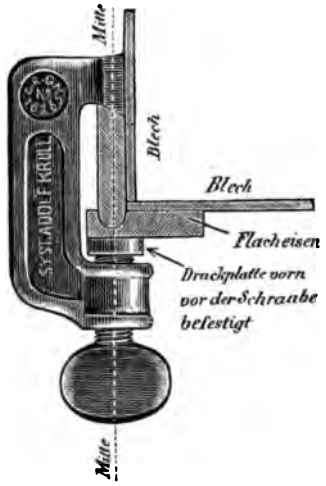
Die durch Aussalzen vom überschüssigen Wasser befreiten Seifen werden Kernseifen genannt. Weit billiger lassen sich die gefüllten Seifen herstellen, indem man diese gar nicht erst aussalzt, sondern die gesamte Unterlauge in ihnen läßt. Namentlich die Verwendung von Kokosnußöl liefert Seifenleime, die nach dem Erkalten große Mengen Flüssigkeit festhalten können und trotzdem starr und hart erscheinen. Während Talg, wie erwähnt, eine Seifenausbeute von 150% liefert, soll es möglich sein, bei Kokosnußöl bis auf 1600% zu kommen, für gewöhnlich geht man aber nicht über 200 bis bis 600%.



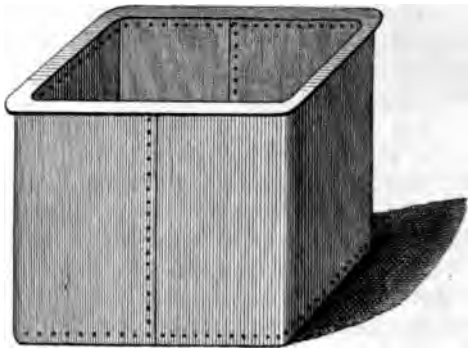
503 u. 504. Seifenkühlkasten, links ohne, rechts mit Umhüllung.

Auch das Kokosnußöl wird nicht allein, sondern mit anderen Ölen und Fetten zusammen verarbeitet. Damit die Seifen hart ausfallen, ist nötig, dem Gemisch auch kohlensaures Natron oder kohlensaures Kali oder auch beides zuzusetzen.

Nach Deite liefert folgendes Gemisch Seife in einer Ausbeute von 500—600%. 80 kg Palmkernöl und 20 kg Kokosnußöl werden unter Zugabe von 60 kg Talkum mit 140 kg 12prozentiger Ätznatronlauge verseift. Ist das erreicht, so werden 20 kg Soda und 10 kg Pottasche zusammen in 80 kg Wasser gelöst zugegeben. Dann fügt man



505. Krulls Schraubenzwinge.

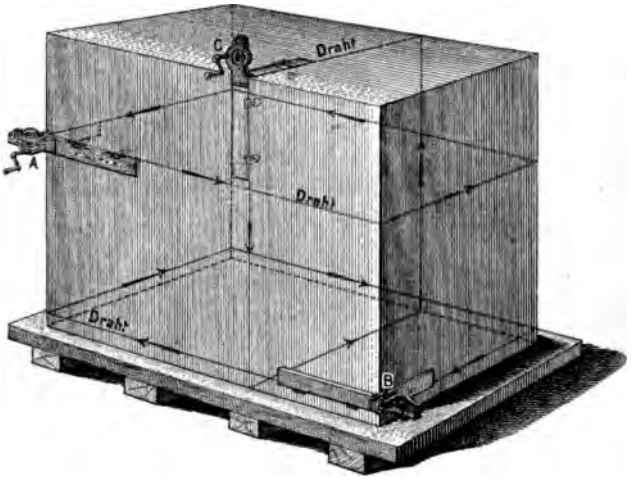


506. Schmiedeisernes Reservoir.

außerdem 60 kg Wasserglaslösung, die mit 20 kg 24prozentiger Ätznatronlauge versetzt sind, hinzu. Außerdem läßt man 60 kg 20prozentiger Kochsalzlösung einfließen. Damit das Ganze die richtige Beschaffenheit annimmt, muß man schließlich nochmals etwa 20 kg 24prozentiger Natronlauge zusetzen. Wir sehen, daß diese Seife außer den eigentlichen für die Herstellung von Seife notwendigen Materialien sicher zwei „Füllungsmittel" enthält, die ihre Masse vermehren sie also verbilligen helfen, ohne daß sie an und für sich in eine Seife gehören, es sind in diesem Falle Wasserglas und Talkum.

Kokosnußöl ermöglicht sogar die Herstellung von Seifen auf kaltem Wege. Starke Laugen sind nämlich im stande, schon bei einer Temperatur von etwa 30° C. das Kokosnußöl zu verseifen, ja es überträgt sogar seine leichte Verseifbarkeit auf ihm zugesetzte andere Öle und Fette, so daß man selbst Talg auf diesem Wege kalt mit verarbeiten

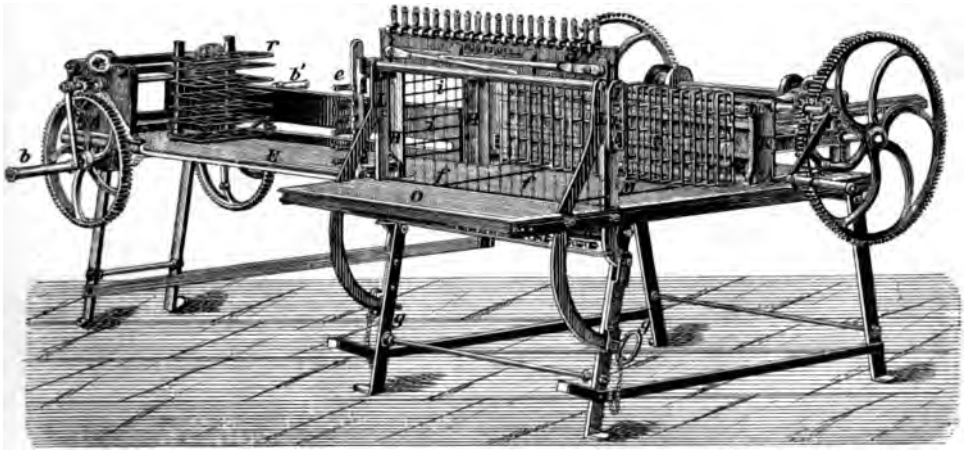
507. Seifenblockzerteilapparat.



508. Anwendung des Apparates am Block.

kann. Zur Herstellung dieser Seifen hat man nur nötig, das Öl oder Ölgemisch mit der Lauge zur völligen Verseifung durchzurühren, womit das Produkt fertig ist.

Die auf dem Wege des Kochens erhaltenen Seifen, also die bei weitem meisten, kommen zum Abkühlen in große Bottiche. Ehemals bediente man sich hölzerner Kasten,

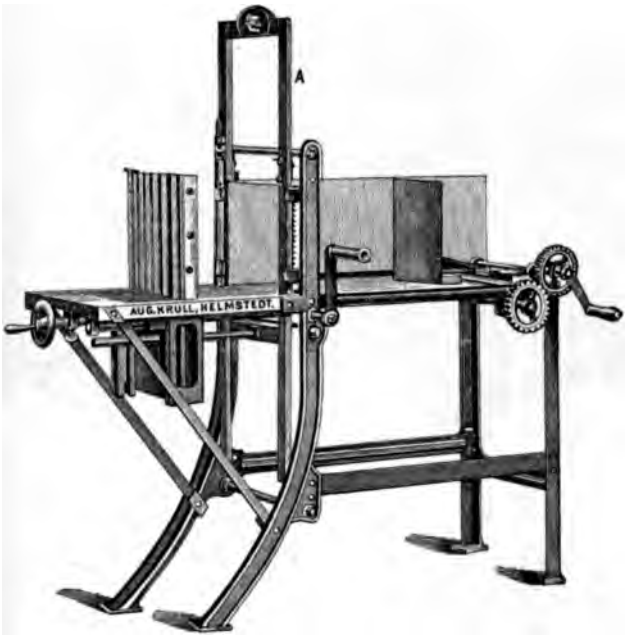


509. Seifenschneidemaschine nach August Krull.

oder aus Holz zusammensetzbarer Formen, die aber durch Undichtheiten fortdauernd zu Verlusten Veranlassung gaben. August Krull in Helmstedt ist es dann gelungen, solche Kasten aus Eisen zu konstruieren, die nichts zu wünschen übrig lassen. Durch Bedecken mit Matratzen kann man die Schnelligkeit der Abkühlung in ihnen beliebig herabsetzen, und eine bequeme Art der Verschraubung der Wände untereinander gestattet ihr leichtes Fortnehmen von der erstarrten Masse sowie ein völlig dichtes nachheriges Wiederzusammensetzen. Das Dichthalten, natürlich das Wichtigste des Ganzen, erzwingt er jetzt mittels der

nebenstehend abgebildeten Schraubenzwinge, die auch in ganz anderen Teilen der chemischen Industrie viele Dienste wird leisten können.

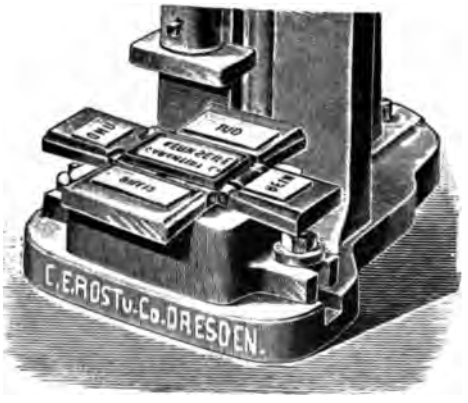
Schmierseife läßt man in den beistehend abgebildeten schmiedeeisernen Reservoiren erkalten, die in den Fabriken auch zur Aufbewahrung der Laugen, Öle u. s. w. dienen.



510. Seifenschneidemaschine nach Krull.

Die Seifenkühlkasten fassen bis 10000 kg Seife, und der nach der Fortnahme der Seitenwände frei dastehende Block muß in kleinere Stücke zerlegt werden, um weiter hantierbar zu sein. Der Blockzerteilapparat Krulls bewirkt diese Zerlegung, indem er durch den Block Drähte zieht, welche von alters her als die bequemste Vorrichtung zum Zerschneiden von Seife dienen. Wir sehen aus der Weise seiner Befestigung am Block die Art, in der er wirkt, indem nämlich die Kurbel den um den Block gelegten Draht durch diesen hindurchzuziehen gestattet. Auch die weitere Zerteilung der so erhaltenen Blöcke erfolgt durch Drähte.

Bis in die siebziger Jahre genügten für diesen Zweck einfache mit der Hand hin und her bewegte Rahmen, in denen Drähte in passender Entfernung gespannt waren. Die seitdem beginnende Massenfabrikation und die Absicht, das ungleichmäßige Schneiden mit der Hand durch die gleichmäßige Arbeit der Maschinen zu ersetzen, hat dann zur Konstruktion von Maschinen geführt, an deren Vervollkommnung seitdem ununterbrochen gearbeitet wird.



511. Stanze zum Seifenpressen.

Die hier abgebildete Seifenschneidemaschine von Krull verarbeitet pro Tag 3500—4000 kg Seife, die sie auf das akkurateste schneidet, so daß wenig Abfall entsteht; auch ist ihre Bedienung nicht schwierig. Sie setzt sich aus zwei miteinander verbundenen Schneidevorrichtungen zusammen, deren erste den Seifenblock in Platten zerlegt, welche dann sofort, ohne in ihrer Lage verändert zu werden, vermittelst der zweiten Schneidevorrichtung in längliche Stücke, sogenannte Riegel zerschnitten werden. Bei der ersten Schneidevorrichtung sind die Schneidedrähte wagerecht, bei der zweiten senkrecht angeordnet. Hierin, sowie in der Verbindung der beiden Schneidevorrichtungen miteinander, liegt das Besondere der Maschine, indem bei dieser Anordnung ein Umpacken der geschnittenen Platten nicht stattfindet.

Der zu schneidende Seifenblock wird auf den Tisch E gelegt, worauf mittels der Handkurbeln b und b' der Vorschubschlitten A durch Antrieb vermittelst Zahnradüber-

setzung und Zahnstange in Bewegung gesetzt wird, wodurch der Seifenblock fortbewegt und durch den ersten Schneiderahmen H hindurchgeschoben wird. Dieser Schneiderahmen H ist mit wagerecht angeordneten Drähten i bespannt. Somit ist der durch ihn hindurchgeschobene Seifenblock in Platten zerteilt, deren Dicke der Entfernung der Drähte voneinander entspricht, und die nach dem Schnitte aufeinander auf dem Tische M liegen. Mittels der Handkurbel c wird nun der Vorschubschlitten K in Bewegung gesetzt, welcher die auf dem Tische M liegenden, geschnittenen Platten ohne weiteres durch den zweiten Schneiderahmen L hindurch schiebt, welcher mit senkrecht angeordneten Drähten f bespannt ist. Somit sind die durch diesen zweiten Schneiderahmen hindurchgeschobenen Platten in Riegel zerteilt, deren Breite der Entfernung der Drähte voneinander entspricht. Die fertigen Riegel liegen nach dem Schnitte auf dem Tische O, von welchem sie fortgenommen werden. Der ganze Vorgang des Schneidens dauert kaum 2 Minuten. Die zu schneidenden Stücke dürfen in zwei Ausdehnungen nicht länger als 40 cm sein, während ihre dritte Ausdehnung $1—1^1/_2$ m sein darf. Die Beschränkung auf 40 cm stammt daher, daß längere Drähte beim Durchschneiden des zu zerschneidenden Blocks gar zu viel reißen.

Die Zerlegung der Riegel in Stücke von solcher Länge, wie sie das Publikum verlangt, erfolgt weiter so, daß die Riegel gegen ein Brett geschoben werden, das vermittelst einer Millimeterskala aufs genaueste eingestellt werden kann, worauf sich der mit einem Schneidedraht versehene Rahmen A senkt und die Zerteilung besorgt.

Um die so erhaltenen Stücke mit den nötigen Aufschriften zu versehen, kommen sie in Preßstanzen, von denen die vollkommener eingerichteten — und eine solche, wie sie von C. E. Rost & Co in Dresden geliefert wird, bilden wir nebenbei ab — die sechs Seiten des Stückes gleichzeitig mit Inschriften versehen. Sie sind so eingerichtet, daß nach der Pressung sich die Klappen von selbst öffnen, wodurch das Arbeiten mit ihnen ungemein beschleunigt wird.

Die Kerzenfabrikation.

Zur Herstellung der Kerzen dienen entweder Talg und Wachs, zwei von der Natur gelieferte, oder Stearin und Paraffin, zwei künstlich erlangte Rohmaterialien.

Vor Erfindung der Kerzen (2. Jahrh. n. Chr.) oder vor ihrer Allgemeinverbreitung dienten Öllampen zur Beleuchtung, zu deren Speisung den alten Kulturvölkern das Olivenöl diente. Nordwärts der Alpen brannte man Kienspäne, die noch zu Anfang des Jahrhunderts nicht ganz aus Rußland, Norwegen und Schweden verschwunden waren.

Die Herstellung der Talgkerzen, mit denen wir beginnen, erfolgt auf zwei Arten, nämlich durch Ziehen oder durch Gießen. Ersteres wird in der Art ausgeführt, daß ein Docht in geschmolzenen Talg getaucht und wieder herausgenommen wird. Ist der Talg erstarrt, so wiederholt man das Verfahren, bis die Kerze die gewünschte Dicke erhalten hat. Statt eines Dochtes taucht man jetzt eine ganze Anzahl von ihnen, die passend nebeneinander an einem Rahmen herabhängen, ein und beschleunigt so die Arbeit. Die zweite Art, die des Gießens, erfolgt fast ganz so, wie die der Stearinkerzen, bei denen wir die Methode ausführlich besprechen müssen.

Wachskerzen werden so hergestellt, daß man die Dochte durch Einhängen in geschmolzenes Wachs mit diesem tränkt. So vorbereitet werden sie über den Kessel mit dem geschmolzenen Wachs aufgehängt. Jetzt gießt der Arbeiter von diesem an sie so lange an, bis sie ungefähr die gewünschte Dicke haben, worauf sie auf einer polierten Marmorplatte mittels eines Rollbrettes gerollt werden, bis sie rein cylindrische Form haben.

Die Anfertigung der sogenannten Wachsstöcke erfolgt in einer etwas anderen Weise. Das Wachs wird hierzu in einem Kessel eingeschmolzen, auf dessen Rand ein sogenanntes Zieheisen sitzt, wie es ganz allgemein zum Drahtziehen verwendet wird. Es hat eine Reihe konisch gebohrter runder Löcher, von denen das folgende immer etwas größer als das vorhergehende ist. Am Boden des Kessels befindet sich ein Haken, durch den der Docht gezogen wird, um dann weiter durch das engste dieser konischen Löcher geführt zu

werden. Eine Trommel, an die er jetzt befestigt wird, dient dazu ihn aufzuwickeln, was so langsam geschieht, daß das an ihm sitzende Wachs erstarrt. Ist die ganze Dochtlänge so mit Wachs überzogen, so wiederholt sich mit ihr der Vorgang, nur wird sie jetzt durch das nächste größere Loch des Zieheisens gezogen, bis schließlich der Wachsstock die gewünschte Stärke hat. Auch Wachskerzen werden übrigens heutzutage außer auf diesem Wege auch durch Gießen hergestellt.

Mit den Stearin- und Paraffinkerzen, zu denen wir jetzt übergehen, verhält es sich folgendermaßen.

Von der Verseifung her wissen wir, daß Fette aus Fettsäuren und Glycerin bestehen. Die Stearinkerzen werden nun aus Fettsäuren hergestellt, und zwar nur aus festen Fettsäuren, wodurch sie hart und gleichmäßig, also weit vollkommener als die Talgkerzen, ausfallen. Genügte es uns in der Seifenindustrie zu wissen, daß die Fette Fettsäuren enthalten, so müssen wir hier näher auf diese selbst eingehen. In dem tierischen Fette, also dem Talg, ist das Glycerin zumeist mit drei von ihnen verbunden, welche die Namen Stearinsäure, Palmitinsäure und Ölsäure führen. Die drittgenannte ist eine Flüssigkeit, wie schon der Name andeutet. Stellt man also die Fettsäuren dar (siehe weiterhin) und preßt das erhaltene Gemisch der drei Säuren, so wird die Ölsäure abfließen. Macht man aus dem festen Rückstande Kerzen, das sind die sogenannten Stearinkerzen, so werden diese hart ausfallen und weit gleichmäßiger als die ehemaligen Talgkerzen brennen. Denn das Gemisch der drei Glyceride im tierischen Fett, aus dem die Talgkerzen bestehen, schmilzt nicht gleichmäßig, wodurch sich ihr schlechtes Brennen erklärt. Dazu kommt, daß im verwendeten tierischen Talg Substanzen enthalten sind, die sich beim Abbrennen mit in den Docht ziehen und ihn an völligem Verbrennen hindern, so daß er einen Kopf bekommt, nach dessen Fortnahme mit der Lichtputzschere die Kerze erst wieder ordentlich leuchtet. Für uns gehören Lichtputzscheren zu denjenigen Dingen, die in die tempi passati fallen, für uns sind Stearinkerzen die einfachsten Dinge von der Welt, die wir als selbstverständlich hinnehmen. Dafür jedoch, was sie für einen Fortschritt in der Annehmlichkeit des Lebens bedeuten, haben wir einen klassischen Zeugen an Goethe, bei dem es heißt:

Wüßte nicht, was sie besseres erfinden könnten,
Als wenn die Lichter ohne Putzen brennten.

Ihm erschien also die Herstellung einer Kerze, nach Art der heutigen Stearinkerze, als eine der wünschenswertesten Erfindungen. Es mag ja auch wenig angenehm gewesen sein, vielleicht jede halbe Stunde mit der Schere das Talglicht zu putzen, damit es wieder genug Licht zum Weiterlesen gab.

Wir erwähnten bereits den Chemiker Chevreul als den, der die Zusammensetzung der Fette im Jahre 1823 bekannt gab. Schon 1825 nahm er mit Gay-Lussac (s. S. 306) zusammen ein Patent auf die Darstellung von Kerzen aus den aus dem Talg abgeschiedenen Fettsäuren. In diesem Patent sind bereits alle Verfahren, auch das heute übliche, angegeben. Erfolg aber hatten beide mit ihm nicht den geringsten. Die Übertragung von im Laboratorium gefundenen Prozessen in die Praxis der Fabrikthätigkeit war damals noch so wenig ausgebildet, daß in den vielen Jahren, in denen sie in diesem Falle allmählich erreicht wurde, längst das Patent verfallen war. Heute hat dagegen die Zerlegung der Fette für die Gewinnung von Kerzenmaterial eine wohl nicht mehr zu übertreffende Höhe erreicht.

Chevreul und Gay-Lussac haben so im großen zu arbeiten versucht, daß sie die Fette vollständig mit Kalilauge verseiften und die erhaltene Seife, das fettsaure Kali, mit Salzsäure zerlegten. Es zeigte sich aber, daß selbst durch anhaltendes Waschen das hierbei entstehende Chlorkalium nicht von den Fettsäuren zu trennen war. Sie wollten sie deshalb durch Auflösen in Alkohol reinigen. Dies letztere allein verteuerte die Säuren bis zur praktischen Unmöglichkeit.

Erfolge wurden erst durch die Verseifung der Fette mit Kalk erzielt. Fette lassen sich nämlich so wie durch Kochen mit Kali auch durch Kochen mit Kalkmilch zerlegen. Nimmt man genügend Kalk, so kann man diese Zerlegung in offenen Gefäßen erzielen.

Es sind dazu 15% an reinem Kalk nötig. Die hierbei aus dem Fette entstehende Seife, der fettsaure Kalk, ist in Wasser völlig unlöslich, und man kann daher nach beendeter Verseifung das Wasser, welches das Glycerin des Fettes gelöst enthält, ablaufen lassen. Der fettsaure Kalk wird hierauf für sich in reinem Wasser aufgeschwemmt, das Wasser durch Dampf ins Kochen gebracht und die zur Zersetzung der Kalkverbindung nötige Menge Schwefelsäure, etwa 27 Teile auf 15 Teile Kalk, zugesetzt. Die abgeschiedenen Fettsäuren schwimmen dann im geschmolzenen Zustande nach Art eines Öles, das sich in seinem Ansehen in nichts von geschmolzenem Fett unterscheidet, auf der siedenden Flüssigkeit, während sich anderseits schwefelsaurer Kalk, also Gips bildet, und die Fettsäuren werden hierauf so lange mit erneuertem heißen Wasser durchgewaschen, bis dies schließlich nicht mehr sauer reagiert, sie somit frei von Schwefelsäure sind. Die erhaltene Fettsäuremenge beträgt 92—95% vom Fett.

Das gewonnene Fettsäuregemisch besteht also aus den beiden festen Säuren, der Stearin- und der Palmitinsäure, und der flüssigen Ölsäure. Man läßt es in flachen Schalen langsam in warmen Stuben erkalten, so daß sich die festen Säuren in ziemlich großen Krystallen abscheiden, während die Ölsäure eine flüssige Mutterlauge bildet. Bringt man das halbwegs erstarrte Gemisch sodann unter starke hydraulische Pressen, wie wir sie beim Auspressen der Ölsaaten (s. Seite 542) kennen gelernt haben, und preßt erst kalt und dann warm, so läuft die flüssige Ölsäure ab, während ein harter Kuchen von Stearin- und Palmitinsäure hinterbleibt.

Den größten Fortschritt auf dem Gebiete der Kalkverseifung hat dann de Milly 1831 erzielt. Er zeigte, daß es möglich ist, Fette mit weit weniger Kalk zu verseifen, wenn man sich zum Kochen geschlossener Gefäße statt offener bedient. So genügen bei 10 Atmosphären Überdruck 2—3% Kalk. Die Ersparnis an diesem billigen Material würde nicht viel zu bedeuten haben, wenn nicht auch gleichzeitig der Verbrauch an Schwefelsäure zum nachherigen Abscheiden des Kalkes auf ein Minimum herabgedrückt und die ganze Verarbeitung dadurch erleichtert würde. Weit übertroffen wird aber trotz dieses seiner Zeit epochemachenden Fortschritts die Kalkverseifung durch die später aufgekommene Schwefelsäureverseifung. Zwar lieferte sie, um es vorweg zu nehmen, die Fettsäuren in sehr dunklem Zustande. Da aber alle nach diesem Verfahren gewonnenen Fettsäuren hernach destilliert werden, worauf sie völlig weiß sind, so kann man zur Verarbeitung auf Stearinkerzen nach dieser Methode, im Gegensatz zur Kalkverseifung, die nur guten und deshalb teuren Talg zu benutzen gestattet, alle möglichen Abfallfette, die stark verunreinigt sein können, wie Knochenfett, ebenso gut aber Palmöl, Kokosnußöl u. s. w. für die Stearinkerzenfabrikation verwenden, also von sehr billigen Fetten und Ölen ausgehen, was die Stearinkerzen außerordentlich verbilligen mußte.

In geschlossenen Gefäßen mit Doppelwänden rührt man die zu verseifenden Fette oder Öle mit durchschnittlich 9% Schwefelsäure durcheinander, während zwischen die Doppelwände Dampf geleitet wird, der die Mischung auf etwa 110° erhitzt. Die sich entwickelnden sehr übelriechenden Gase werden durch Einleiten in eine Feuerung verbrannt. Ist nach 12—18 Stunden die Zersetzung beendet, so werden die dunklen Fettsäuren, um sie von dem abgespaltenen Glycerin nebst der Schwefelsäure zu trennen, mit Wasser gewaschen. Sie kommen alsdann in Destillierapparate, und ein Strom Wasserdampf wird durch sie während der Destillation geleitet, welcher ihr Übertreiben beschleunigt. Zu Anfang der Destillation kommen Destillate, die aus reiner Stearinsäure und Palmitinsäure bestehen und zu so harten Kuchen erstarren, daß man sie direkt auf Kerzen verarbeiten kann. Die später kommenden, an Ölsäure reicheren Partien werden von dieser erst durch Auspressen befreit, bevor auch sie zu Kerzen verarbeitet werden können. Die Schwefelsäureverseifung verdrängt die Kalkverseifung aus den Stearinkerzenfabriken immer mehr.

Ein weiteres sehr wichtiges Material für die Kerzenfabrikation ist das Paraffin. Der Entdecker desselben ist Reichenbach, der es 1830 im Holzteer auffand. Das Paraffin ist, wie wir heute wissen, ein Gemisch hochsiedender Kohlenwasserstoffe. Seinen Namen gab er ihm, weil es sich gegenüber den verschiedensten Reagenzien sehr wider-

ſtandsfähig erwies, er leitete ihn von parum (wenig) affinis (verbindungsfähig) her. Schon er machte den Vorſchlag, es zu Kerzen zu verwenden. In Ausführung kam dieſer Vorſchlag aber erſt im Jahre 1850 in England, wo als Ausgangsmaterial nicht Holzteer ſondern der Teer, welchen die ſehr bituminöſe Cannelkohle liefert, dient. Gleichzeitig wurden allerdings erfolgloſe Verſuche mit dem Teer aus einem bituminöſen Schiefer in der Nähe von Bonn gemacht. Im Gegenſatz hierzu erwies ſich die Herſtellung von Paraffin aus Braunkohlenteer, die in Sachſen im Jahre 1856 aufgenommen wurde, als außerordentlich lohnend, und ſie hat in jener Gegend eine große Induſtrie geſchaffen. Weit über 30 Fabriken beſchäftigen ſich dort mit der Darſtellung des Paraffins, und der Wert der Braunkohlenfelder iſt durch ſie wohl auf das zehnfache geſtiegen. Zwecks der Fabrikation werden die Braunkohlen aus Retorten von den verſchiedenſten Formen deſtilliert, ähnlich wie wir es beim Holz (ſ. S. 498) kennen lernten, indem über ihre beſte Form und Einrichtung die Anſichten auseinandergehen.

Der erhaltene Teer wird wiederum ſeinerſeits deſtilliert und liefert leichte Teeröle und Rohparaffin. Das Rohparaffin wird von den ihm anhängenden Ölen durch Auspreſſen unter koloſſalem Druck befreit. Die ihm dann noch anhaftenden Öle werden mittels Durchleiten von Dampf aus ihm abdeſtilliert. Die jetzt dunkle Paraffinmaſſe muß noch entfärbt werden. Hierzu dient Tierkohle — namentlich iſt jene aus Tierſtoffen herſtammende Schwärze, die die Blutlaugenſalzfabrikation als Abfall (ſ. S. 342) liefert, geeignet — mit der man die geſchmolzene Maſſe durchrührt. Die nachfolgende Filtration durch Papier hält jede Spur von Kohle zurück, ſo daß das Paraffin auf dieſem Wege rein weiß erhalten wird.

An das Paraffin haben wir noch die Ceresinfabrikation aus Ozokerit anzuſchließen. In Galizien findet ſich in der Gegend von Borysław eine Art von Erdwachs, das durch Stollen gegraben, alſo bergmänniſch gewonnen werden kann. Man nimmt an, daß es ſich aus Petroleumrückſtänden gebildet hat, indem die leichtflüchtigen Teile desſelben allmählich verdunſtet ſind, denn die ganze Gegend liefert auch Petroleum. Dieſes Erdwachs oder Ozokerit braucht nur entfärbt zu werden — es ſieht in rohem Zuſtande ganz ſchwarz aus — um Kerzenmaterial zu ſein. Zu dem Zwecke erhitzt man es mit Schwefelſäure auf faſt 200°. Dies führt zur Zerſtörung vieler ſtörenden Beimengungen. Hierauf wird die Säure wieder völlig durch Waſchen entfernt, und die ſo vorbereitete Maſſe läßt ſich nunmehr durch Tierkohle völlig bleichen. Auch hier bewährt ſich die Bleichung durch die Schwärze der Blutlaugenſalzfabriken ſo ausgezeichnet, daß der bei weitem größte Teil der von ihr in Europa erzeugten Menge nach Borysław wandert, obgleich die Entfernung mancher Fabriken ſo groß iſt, daß die Eiſenbahnwaggons 8 Tage Zeit zu ihrem Hinrollen brauchen, wonach man die Frachtkoſten für die mehrere tauſend Kilometer betragende Strecke ermeſſen kann.

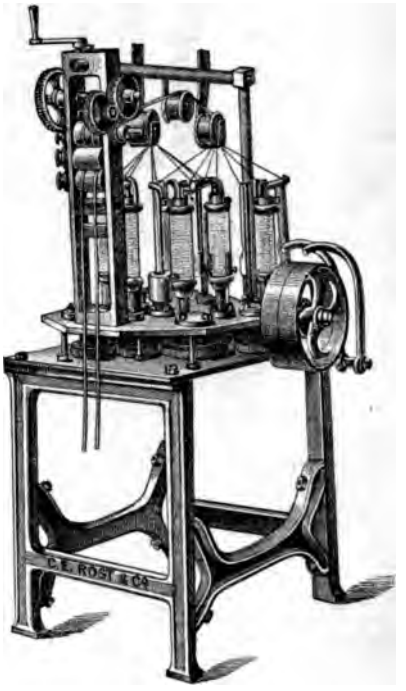
Die Induſtrie des Erdwachſes bietet ſo viel Merkwürdiges oder beſſer geſagt Abſonderliches, daß wir, unter Benutzung einiger neueren Angaben, Faucks Schilderung derſelben hier in möglichſter Kürze wiederzugeben uns nicht verſagen wollen, da das meiſte noch heute ſeinen etwa 20 Jahre alten Angaben entſpricht. Alles Erdwachs faſt wird in der Nähe von Borysław gewonnen, einem Dorfe, das damals ſchon auf über 17000 meiſt jüdiſche Bewohner angewachſen war. Man hatte etwa 5000 Schächte im Betrieb, die täglich 800—1000 Zentner Ausbeute an Erdwachs ergaben. Nebenbei gewann man etwa 300—500 Zentner Petroleum. Da Erdwachs aber weit wertvoller als Petroleum iſt, wurde letzteres ziemlich vernachläſſigt. Die Schächte ſind auf einer großen Fläche ſo nahe aneinander angelegt, daß ihre Bretterhäuſer faſt aneinander ſtoßen, ſo daß nicht einmal immer Raum zum Durchgehen zwiſchen ihnen vorhanden iſt, und oft vereinigen ſich denn auch die Schächte in einer Tiefe von 200—300 Fuß. Sie gehen anfangs durch 8—10 m groben Sand, dann durch blauen Lehm und plaſtiſchen Thon.

Das Erdwachs wird in dieſem Thon in Lagen bis zu 120 cm Mächtigkeit gefunden, von etwa 6 cm ab aufwärts wird es abgebaut. Es wird mit dem Spaten gewonnen, iſt aber in der Grube ſo zähflüſſig, daß es von ſelbſt hervordringt, ſo wurde 1873 bei 300 Fuß Tiefe eine Erdwachslage angefahren, die in einer Nacht den ganzen Schacht

bis zu Tage füllte, und infolge dieses schnellen Ausquillens des Wachses verunglücken manchmal Arbeiter. Deren Verhältnisse in Borysław sind noch heute höchst eigentümliche. Zu jener Zeit fanden sich an einem gewissen Sammelplatze alle Arbeitsuchenden an jedem Morgen ein. Der Arbeitgeber wählte sich seine Leute aus, mußte aber den Arbeitslohn vorher ausbezahlen und dann die Arbeiter unter strenger Aufsicht halten, damit sie ihm nicht durchgingen. Borysław ist mit Drohobycz, einem größeren Orte, durch eine Zweigbahn verbunden. Täglich gingen damals zwei Züge mit Ausnahme des Sonnabends, an dem nur einer verkehrte, da die Grubenbesitzer und Arbeiter fast ausschließlich Juden waren. Bestes Erdwachs ist jetzt an Ort und Stelle etwa 70 Mark die 100 kg wert.

Viel verwendet wird auch in der Kerzenindustrie seit 30 Jahren das Carnaubawachs, weil sein Schmelzpunkt bei etwa 83° also für Fettarten sehr hoch liegt. Obwohl mehrere Millionen Kilogramm von ihm jährlich aus Brasilien nach Europa kommen, wußte man von ihm kaum viel mehr, als daß es dort den Überzug der Blätter einer Palme (Copernicia cerifera) bildet und durch Auskochen derselben gewonnen wird, bis im Jahre 1893 Villon näheres über seine Reinigung, Bleichung und Verwendung, die mit den von uns beschriebenen sonstigen Methoden ziemlich zusammenfallen, mitteilte.

Von weit größerer Wichtigkeit, als man anzunehmen geneigt ist, sind die Dochte der Kerzen. Ja erst die Erfindung der geflochtenen Dochte durch Cambacère 1834 stellte der Welt die heutigen tadellos brennenden Kerzen zur Verfügung. Bis zu dieser Erfindung der dreißiger Jahre hatte man die Dochte aus Baumwollfäden scharf zusammengedreht. Sie hielten sich infolgedessen während des Abbrennens der Kerze ganz gerade, und da an sie, die von den verbrennenden Gasen der Flamme umgeben waren, keine Luft herankommen konnte, verkohlte ihr Ende aus Mangel an Sauerstoff. Dies führte zur Bildung eines Kopfes, hinderte das ordentliche Weiterbrennen und machte ihr Putzen erforderlich.



512. Dochtflechtmaschine.

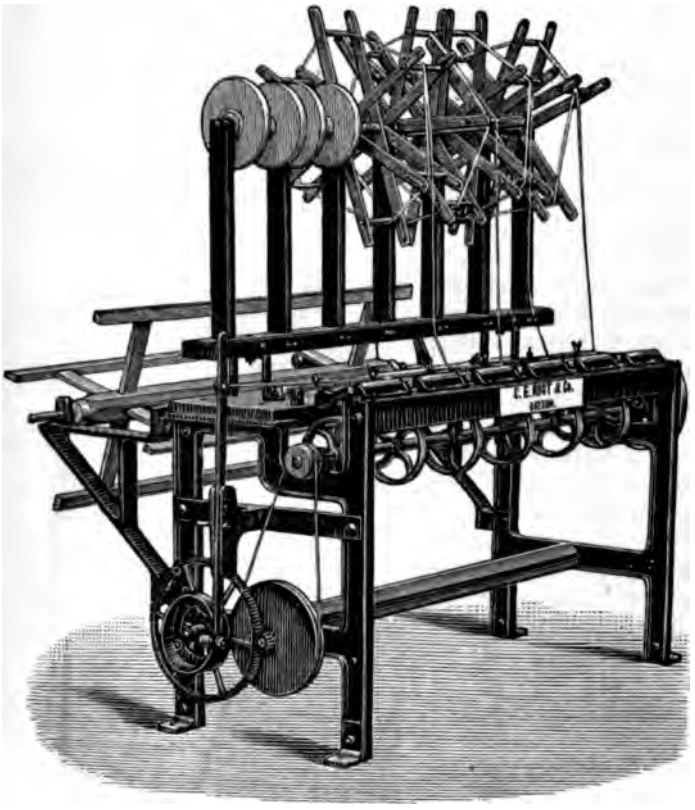
Die geflochtenen und zwar zumeist aus drei Schnüren geflochtenen Dochte bringen dagegen infolge der dadurch hervorgerufenen Spannung im Material, welches ihr Biegen veranlaßt, ihr Ende selbstthätig aus der Flamme heraus, so daß es hier an der Luft verbrennen kann und bei dieser Art von Dochten das Putzen unnötig wird.

Für Talglichte sind sie nicht verwendbar, weil sie infolge ihrer Biegung nach einer Seite das Abtropfen des so leicht schmelzenden Materials nach dieser veranlassen würden. Also die Erfindung Cambacères stattete erst die Stearinkerzen mit ihren großen Vorzügen vor den Talgkerzen aus und half so diese Industrie auf ihre nicht mehr zu übertreffende Höhe zu bringen.

Die Herstellung der Dochte erfolgt stets in den Kerzenfabriken selbst. Sie bedienen sich z. B. hierzu der von C. E. Rost & Co. in Dresden gelieferten Maschinen. Das in Strähnen bezogene Rohgarn wird von den Flügelwinden der Spulmaschine auf die Spulen der Flechtmaschine abgespult und der auf dieser erzeugte Docht wieder mit der Spulmaschine auf den Haspel abgewickelt, von welchem er abgezogen wird, um nunmehr gebeizt zu werden. Grund des Beizens ist, daß der aus nicht gebeizter Baumwolle hergestellte Docht in der Hitze leicht kohlige Substanzen ausscheidet, die seine Kapillarität schwächen und so das Auffaugen der geschmolzenen Fettsäuren hindern. Durch Beizen verschiedener Art hat man dem abzuhelfen versucht. Cambacère benutzte verdünnte Schwefel-

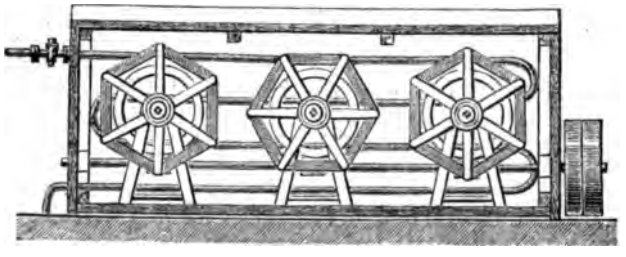
säure, heute dienen wohl meist sehr verdünnte Lösungen an Sauerstoff reicher Substanzen hierzu, wie 5prozentige Lösungen von chlorsaurem Kali oder Salpeter.

Nachdem sich der Docht genügend mit einer derartigen Flüssigkeit vollgesogen hat, wird er in einer Zentrifuge möglichst von ihr befreit, sodann wieder aufgerollt und im Dochttrockenapparat getrocknet. In einem solchen liegt eine Dampfschlange, deren Wirkung durch einen Hahn regulierbar ist. Der aufgerollte Docht wird auf vierkantige Wellen aufgeschoben, welche mittels Schraube und Schraubenrad in langsame Umdrehung versetzt werden. Nach dem Trocknen wird er auf die Spulen der Kerzengießmaschinen aufgewickelt.



513. Spulmaschine.

Das Gießen der Kerzen erfolgte anfänglich so, daß man in einer passenden cylindrischen Form in der Mitte des Bodens einen Docht befestigte und mittels eines Blechkreuzes, das man auf sie legte, dafür sorgte, daß der Docht in die Mitte der zu gießenden Kerze kam. Das Anbringen mehrerer solcher Formen an einem gemeinsamen Trog ermöglichte, gleichzeitig eine größere Anzahl von Kerzen zu gießen. Das rastlose Streben in der Vervollkomnung der an Stelle der Handarbeit mit dem Beginn der fünfziger Jahre aufkommenden Kerzengießmaschinen hat dann zu Konstruktionen geführt, bei welchen die fertigen Kerzen entweder aus der Gußform herausgezogen oder aus ihr herausgedrückt werden. Das letztere Prinzip scheint den endgültigen Sieg davongetragen zu haben.

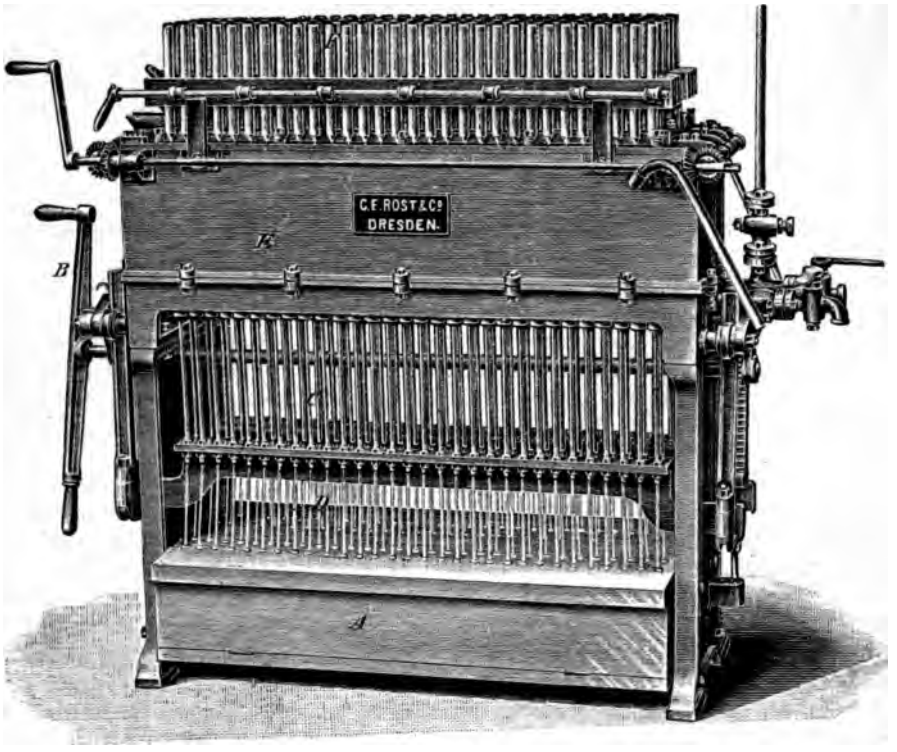


514. Dochttrockenapparat.

Wir geben hier die Abbildung einer Kerzengießmaschine von C. E. Rost & Co. in Dresden wieder. Im Raume A befinden sich auf ihren Spulen die Dochte, die durch die Kerzenform, welche aus einer Legierung von Blei und Zinn nebst etwas Wismut besteht, hindurchgezogen werden. Den Schluß der cylindrischen Kerzenform nach unten bildet ein Piston, das so geformt ist, daß es den zugespitzten Kopf der Kerze liefert. Durch seine zentrische Durchbohrung geht der Docht. Die Länge des Pistons ist so bemessen, daß es beim späteren

Hinaufdrücken, welches durch die Kurbel B erfolgt, die Kerze ihrer ganzen Länge nach aus der Form heraushebt. Die Gesamtzahl dieser Pistons sehen wir in C, während wir in D die einzelnen Dochtfäden sehen.

Die Kerzenformen sind in vier Reihen, je zwei Reihen in jeder der beiden auf dem Wasserbassin E angebrachten Pfannen, angeordnet und mit ihren Enden oben in den Pfannen, unten in den Boden des Bassins eingedichtet. Für den Guß läuft das geschmolzene Kerzenmaterial in diese Pfannen und verteilt sich von ihnen aus in die einzelnen Formen. Da die gute Qualität der Kerzen genau von der Temperatur, bei welcher das Fett geschmolzen und in die erwärmten Formen gegossen ist, abhängt, kann man sie mittels des durch eingeleiteten Dampf erwärmbaren Wassers, welches sich in E befindet, auf eine bestimmte Temperatur anwärmen.



515. Kerzengießmaschine.

Ist einige Zeit nach dem Gusse das Material in der Pfanne erkaltet, so fährt ein scharfes Messer dicht über die Formen hin und trennt so die überschüssig in der Pfanne gebliebenen Fettsäuren von den Kerzen. Sind diese genügend erstarrt, so drückt man sie jetzt mittels der Kurbel B langsam in die Höhe, indem die Pistons sie vor sich hertreiben.

Die über den Pfannen angeordneten sogenannten Klemmer werden vorher geöffnet; in dieselben gleiten die aus den Formen mit ihren Spitzen bis über die Oberfläche der Pfanne geschobenen Kerzen. Ist dieser Punkt erreicht, so werden die Klemmer mit einem leichten Druck vollständig sicher geschlossen, um die Kerzen über den leeren Formen zu halten. Beim Rückwärtsdrehen der Kurbel lösen sich die Pistons von den ausgehobenen Kerzen, und die Träger senken sich, bis die Pistons wieder an den tiefsten Stand in den Formen gelangt sind. Die Klemmer zentrieren und halten während dieser Zeit den Docht vermöge ihrer Konstruktion genau in der Mitte der Formen, so daß sogleich ein neuer Guß angefertigt werden kann. Zum Abschneiden der Dochte der in den Klemmern

gehaltenen Kerzen dient ebenfalls ein an einem langen Stiele befestigtes entsprechend geformtes Messer.

Zur Bedienung von 3—4 derartiger Maschinen, deren jede 100 Gießformen enthält, genügt ein Arbeiter, der in 10 Stunden, wenn z. B. Stearin vergossen wird, 25 und mehr Güsse auf jeder Maschine ausführen kann.

Das Glycerin. Wir haben nunmehr die Verwendung des einen Bestandteiles der Fette kennen gelernt, nämlich den der Fettsäuren, wie sie in Form von Seifen und Kerzen verwertet werden, und kommen nun zu ihrem zweiten Bestandteil, zum Glycerin, welches bei diesen beiden Arten ihrer Nutzbarmachung Abfall ist.

Entdecker desselben ist der öfters erwähnte Scheele. Man kann Fett außer durch Kali- oder Natronlauge oder durch Kalk auch durch andere alkalisch wirkende Mittel zerlegen, z. B. durch Kochen mit Bleioxyd. Dann erhält man fettsaures Blei und daneben Glycerin. Das fettsaure Blei ist dasjenige, was wir Pflaster nennen, und Scheele als Apotheker hatte, wie jeder dieses Standes, Gelegenheit genug, Fette nach dieser Methode zu zerlegen. Bei der Untersuchung des erhaltenen Pflasters fand er das Glycerin, sein „principium dulce oleorum", wie er den Körper seines süßen Geschmacks halber nannte, was mit Ölsüß verdeutscht worden ist. Denselben Körper mußte dann Chevreul bei seinen ausführlichen Fettuntersuchungen finden, er gab ihm vom griechischen γλυκύς (süß) her den Namen Glycerin.

Das Glycerin bildet bekanntlich einen farb- und geruchlosen Sirup vom spezifischen Gewicht 1,235. Ursprünglich wurde es nur in den Apotheken für arzneiliche Zwecke nach dem von Scheele angegebenen Wege hergestellt. Erst verhältnismäßig spät hat es technische Massenverwendung gefunden, nämlich eigentlich erst zur Dynamitfabrikation (s. S. 466), und heute bildet seine Darstellung eine eigene Industrie. Infolge dieser seiner Hauptverwendung ist sein Preis ganz vom Dynamitverbrauch abhängig und schwankt wie dieser außerordentlich. Im Jahre 1874 kosteten 100 kg von ihm in Paris, seinem Haupthandelsorte, schließlich 24 Mark, 1881 dagegen bis 170 Mark und 1894 wiederum nur 24 Mark.

Die Gewinnung des Glycerins aus den Unterlaugen der Seifensieder ist schwierig, wäre das nicht der Fall, sie wäre gewiß weit länger schon ausgebildet worden. Sie kam erst durch die zeitweisen sehr hohen Preise des Produkts zur Geltung, indem es bei diesen lohnte, die mühevollen Operationen technisch durchführbar auszugestalten, die es nun heute auch ohne exorbitante Preise aus diesem Abfall herzustellen lohnend erscheinen lassen. Die Gewinnung aus den Unterlaugen gestaltet sich etwa folgendermaßen: Sie werden mit Hilfe von Dampfschlangen auf eine Dichte von 34° B gebracht und sodann abkühlen gelassen. Es findet eine massenhafte Salzausscheidung statt, die ihren Ursprung in den bei der Verseifung verwendeten Chemikalien hat. Nach einigen Tagen zieht man die Flüssigkeit von ihnen ab und setzt ihr jetzt zur Abstumpfung noch vorhandenen freien Alkalis Schwefelsäure zu. Das sich bildende schwefelsaure Natron scheidet sich sogleich seinerseits massenhaft aus. Nach seiner Entfernung kann man die infolgedessen nur wenige Baumégrade zeigende Flüssigkeit wiederum konzentrieren, bis man auf 33° B kommt. Nach völligem Erkalten dieser Lauge trennt man das Flüssiggebliebene von den neuerdings ausgeschiedenen Salzen und verkauft das mittels Filterpressen geklärte Produkt an Fabriken, die sich mit seiner völligen Reinigung befassen. Von diesen gibt es schwerlich mehr als zwanzig in der ganzen Welt.

Eine weit reichlichere Quelle für Glycerin als die Unterlaugen der Seifensieder sind die Laugen, welche bei der Verseifung der Fette mit Kalk unter Überdruck oder mit Schwefelsäure für die Stearinkerzenfabrikation erhalten werden. Nach beendigter Kalkverseifung läßt sich das glycerinhaltige Wasser leicht von der Kalkseife trennen, und durch Zugabe von Schwefelsäure fällt man seinen Gehalt an Kalk als Gips aus, während man umgekehrt die bei der Verseifung mit Schwefelsäure erhaltenen Glycerinwässer durch Kalkzugabe von der Schwefelsäure befreit. Die durch Filtration vom Gips getrennte Flüssigkeit wird alsdann vermittelst Dampfschlangen eingedampft, bis sie 28° B zeigt, und als solche an andere Fabriken abgegeben.

In diesen war die Reinigung ursprünglich eine ziemlich primitive. Man verdünnte die Rohglycerine wieder auf etwa 20° Baumé und kochte sie nochmals unter Zugabe von etwas Kalk, den man seinerseits mit Schwefelsäure ausfällte. Dann wurde die Flüssigkeit so lange über Knochenkohle filtriert, bis der nötige Grad der Entfärbung erzielt war.

Schon 1855 hatten aber Wilson und Paque ein englisches Patent auf ein Verfahren zur Reinigung des Glycerins durch Destillation genommen, das natürlich ein Produkt von ganz anderer Reinheit als die beschriebene Manipulation liefern muß, indem hierbei alle im Glycerin gelösten Salze und sonstigen Verunreinigungen in der Destillierblase bleiben und nur das reine Glycerin überdestilliert.

Die auf die mitgeteilte Art bewirkte möglichste Entfernung von Salzen aus dem Rohglycerin muß aber auch heute noch stets der Destillation vorangehen, da stark salzhaltiges Glycerin überhaupt nicht unzersetzt destillierbar ist. Ja selbst nach deren Entfernung ist die Glycerindestillation eine nicht ganz leichte Sache, weil, wenn die Temperatur zu hoch steigt, es sich in einen Stoff, der Akroleïn heißt, und in Wasser zersetzt. Akroleïn hat nun den Geruch des angebrannten Fettes, oder richtiger ausgedrückt, wenn Fett verbrennt, bildet sich aus seinem Glycerin dieser so abscheulich riechende Körper, kurzum ein Glycerin, welches bei der Destillation zu hoch erhitzt wird, wird schon infolge seines Geruches nur eine sehr minderwertige Handelsware sein.

Man hat deshalb zu seiner leichteren Verflüchtigung von jeher während der Destillation überhitzten Wasserdampf durch die im direkten Feuer erhitzte Destillierblase geleitet. Dadurch wird diese Gefahr beseitigt, aber wiederum das fertige Destillat mit Wasser verdünnt erhalten, wenn man auch durch geschickte Anordnung der Kühlvorrichtung wenigstens einen großen Teil des Glycerins ziemlich wasserfrei zu gewinnen verstand.

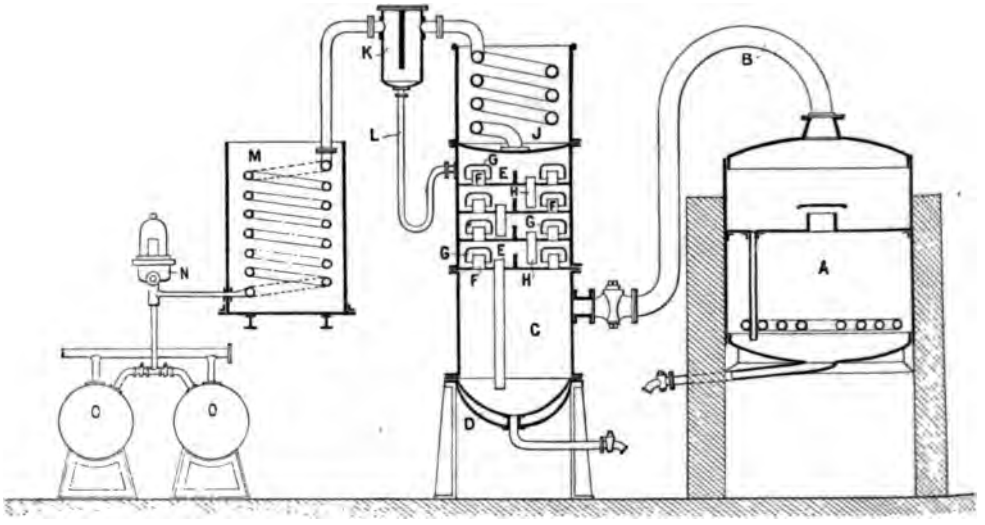
Jetzt hat aber Heckmann einen im deutschen Reichspatent 61457 beschriebenen Destillationsapparat für glycerinhaltige Flüssigkeiten konstruiert, bei dem das Glycerin mit direktem Feuer überhaupt nicht mehr in Berührung kommt. Er ermöglicht dies dadurch, daß er das Rohglycerin oder die glycerinhaltige Flüssigkeit im luftverdünnten Raume vermittelst überhitzten Dampfes destilliert und die abziehenden Dämpfe durch Schichten von Glycerinflüssigkeit hindurchziehen läßt, welche durch Kondensation von Glycerindämpfen erzeugt sind, damit im Verlaufe des Verfahrens, soweit irgend möglich, nur Glycerin sich verdichtet, während Wasser in Dampfform weiterzieht. Zu dem Zwecke hat der umstehend (Abb. 516) abgebildete Apparat folgende Einrichtung erhalten.

In eine in passender Weise eingemauerte Destillierblase A, in welche das Rohglycerin oder die glycerinhaltige Flüssigkeit eingelassen wird, wird überhitzter Wasserdampf von 200—300° eingeleitet. Aus der Destillierblase A treten die glycerinhaltigen Dämpfe durch ein Rohr B in ein Sammelgefäß C, welches mit einer Dampfheizvorrichtung ausgestattet ist, wie sie durch D auf der Zeichnung angedeutet wird. Diese Heizvorrichtung dient dazu, das Sammelgefäß C etwa 80° heiß zu halten, damit in dem sich kondensierenden Glycerin etwa enthaltenes Wasser wieder verdampft. Die Dämpfe steigen hier durch eine Anzahl von Abteilungen EE, welche über dem Sammelbehälter C angeordnet und mit Dampfdurchtrittsstutzen, Glocken GG und Überlaufrohren HH ausgestattet sind, und müssen so die kondensierte und sich in den Abteilungen ansammelnde Glycerinflüssigkeit durchströmen. Hierdurch wird in den einzelnen Abteilungen die kondensierte Flüssigkeit um so glycerinreicher, je näher dieselben nach dem Sammelgefäß C hin liegen, so daß die Dämpfe zuerst die glycerinreiche und weiterhin immer glycerinärmere Schichten durchdringen und allmählich ihres Glyceringehaltes beraubt werden, während der Wasserdampf weiter entweicht und in eine darüber angeordnete Kühlvorrichtung J gelangt, welche durch Luft, Gas oder Flüssigkeit bezw. Wasser von einer 80° nicht übersteigenden Temperatur gekühlt wird. Hierdurch wird nur ein verhältnismäßig geringer Teil des Dampfes mit dem ganzen Reste des Glycerins, welchen er etwa enthält, kondensiert und in die darunter befindlichen Abteilungen EE zurückgeführt, wo er also die Schichten von Glycerinflüssigkeit erzeugt, durch welche die Dämpfe hindurchstreichen. Um die Kondensation der letzten etwa im Dampf enthaltenen Glycerinreste noch zu befördern, kann man

die Kühlvorrichtung noch mit einer weiteren Kondensationsvorrichtung K verbinden, aus welcher durch einen Ablauf L die etwa noch weiterhin kondensierten Anteile nach den Abteilungen E E geführt werden.

Die nunmehr von Glycerin freien Wasserdämpfe werden in einem folgenden Kühler M vermittelst Wasserkühlung vollkommen verdichtet. Dieses kondensierte Wasser gelangt durch eine Probiervorrichtung N, mittels welcher geprüft werden kann, ob die Glycerinkondensation richtig geführt worden ist, in Sammelgefäße O O, welche mit einer starkwirkenden Luftpumpe in Verbindung stehen, so daß in dem gesamten Apparat eine Luftdruckverminderung erzeugt wird, welche es ermöglicht, die Destillation des Glycerins in der Destillierblase bei verhältnismäßig niedriger Temperatur vorsichgehen zu lassen. Mit Hilfe des Heckmannschen Verfahrens erzielt man Glycerin von 95—100% Gehalt.

Destilliertes Glycerin zeigt oft noch eine Spur von gelber Färbung, und allerbestes Glycerin wird deshalb zweimal destilliert, wobei Helm und Kühlschlange des zweiten Destillationsapparats von innen versilbert sind. An Stelle dieser zweiten Destillation kann man aber auch über Knochenkohle filtrieren und dadurch völlige Entfärbung erzielen.



516. Destillationsapparat für glycerinhaltige Flüssigkeiten nach Heckmann.

Trocknende Öle und Firnisse.

Wir hören fortwährend von Ölmalerei sprechen, wollten wir aber versuchen, im Hinblick auf diese Bezeichnung durch Verreiben eines Farbstoffes mit irgend einem Öl uns eine „Ölfarbe" herzustellen, wir würden wenig Freude an ihr haben. Greifen wir z. B. zu dem uns so leicht zugänglichen Olivenöl, so wissen wir ja, daß dieses einen sogenannten Fettfleck verursacht, wenn es an Stoffe irgend welcher Art kommt, und daß solche Flecke nie eintrocknen, folglich würde auch diese unsere Malerei niemals trocken werden.

In Wirklichkeit verhält sich denn auch die Sache folgendermaßen: Es gibt zwei Klassen von Ölen: trocknende und nicht trocknende Öle. Zwischen beiden existieren einige Übergänge, das sind die schlecht trocknenden. Nur die trocknenden Öle können in der Malerei Verwendung finden.

Der Unterschied dieser Öle in chemischer Beziehung beruht auf folgendem. Wir haben häufig erwähnt, daß in Fetten und Ölen neben anderen Fettsäuren die Ölsäure an Glycerin gebunden vorkommt. Öle, welche, wie z. B. Olivenöl, diese gewöhnliche Ölsäure enthalten, trocknen nicht an der Luft. In den trocknenden Ölen dagegen, wie im Leinöl, findet sich eine von dieser Ölsäure etwas verschiedene Säure, die den

Namen Leinölsäure führt, im Ricinusöl finden wir die Ricinölsäure u. s. w. Im Baumwollsamenöl finden wir die gewöhnliche Ölsäure nebst einer zweiten. Die Glycerinverbindung der ersten hindert das Trocknen, die der zweiten ermöglicht es, und so gehört das Baumwollsamenöl zu den schlecht trocknenden Ölen.

Das Trocknen der Öle beruht nun auf ihrer Oxydation an der Luft, sie sollen dünn auf Flächen gestrichen 50% ihres Gewichts an Sauerstoff aufnehmen können. Ihre Neigung, sich zu oxydieren, und damit die Schnelligkeit ihres Trocknens wird sehr beschleunigt, wenn man sie mit Substanzen kocht, die Sauerstoff abgeben können. Die hierdurch eingeleitete Oxydation vollendet sich hernach bei ihrem Aufstreichen auf Flächen weit rascher, als es ohne diese Vorbereitung der Fall ist. Von altersher diente zu diesem Zwecke das Bleioxyd. Man hat aber auch die verschiedensten anderen Mittel während des Kochens zugesetzt, und ganz besonders bewährt hat sich das von Barruel und Jean empfohlene borsaure Mangan. Man erhält diese Verbindung als weißen Niederschlag, wenn man zu einer Lösung von schwefelsaurem Mangan (s. S. 400) eine Boraxlösung setzt. Nach dem Trocknen kann sie sogleich ihrem Zwecke dienen, und ein Teil von ihr soll zur Beförderung des schnellen Trocknens von tausend Teilen gekochten Leinöls ausreichen. Solches durch die eingeleitete Oxydation zum raschen Trocknen vorbereitete Leinöl ist es nun, welches mit Farben angerieben als „Ölfarbe" in der Malerei dient.

Bestreicht man mit derartigem präparierten Leinöl Flächen irgend welcher Art, so wird es auf ihnen nach dem Trocknen als glänzender Überzug haften, und sind die Flächen z. B. mit Wasserfarbe vorgestrichen gewesen, so wird diese durch den Überzug vor der Abwaschbarkeit geschützt sein. So behandelte Flächen bezeichnet man als gefirnißt.

Doch wird der Begriff Firnis etwas weiter gefaßt, als es nach dieser Angabe scheinen könnte. Man nennt nämlich Firnis auch die Flüssigkeiten, welche man durch Auflösen von Harzen in Spiritus oder Terpentinöl erhält, bezw. die Flüssigkeit, welche man durch Auflösen von Kopal oder Bernstein in gekochtem Leinöl, dem man meist Terpentinöl zusetzt, erhält. An Stelle von Spiritus hat man in neuerer Zeit auch Aceton (s. S. 505) und ähnliche andere leichtflüchtige Lösungsmittel benutzt. Nach ihrer Verdunstung hinterbleibt das gelöst gewesene Harz als dünner glänzender Überzug auf den mit ihnen gefirnißten Gegenständen. Gleichbedeutend mit Firnis ist hier die Bezeichnung Lack. Je schneller das Lösungsmittel verdunstet, um so schneller trocknet der Lack, aber die so hergestellten Überzüge sind lange nicht so haltbar, wie die eigentlichen Leinölfirnisse, bei denen also nichts verdunstet, sondern die Masse als solche eintrocknet.

Zur Darstellung von Leinölfirnis schmilzt man z. B. 10 Teile Kopal oder Bernstein in einem Kessel ein und gibt zu dem geschmolzenen Harz 20—30 Teile kochenden Leinölfirnis, worauf man kurze Zeit sieden läßt. Nachdem sich sodann das Gemisch bedeutend abgekühlt hat, fügt man noch 25—30 Teile Terpentinöl zu.

Die Färbung von Firnissen erreicht man teilweise mit Anilinfarben, weit echter aber auf anderem Wege, obgleich ihr jetzt schon in den fetten Lacken lösliche Teerfarbstoffe zur Verfügung stehen, die so widerstandsfähig sind, daß die Lackierungen 95° C. Hitze ertragen, ohne sich zu verändern. So erhält man echten grünen Firnis so, daß man z. B. Sandarakharz in Natronlauge (die Löslichkeit von Harzen in Natronlauge ist uns ja bekannt) löst und eine Kupferlösung zugießt. Das ausfallende harzsaure Kupfer löst sich nach dem Trocknen im Lackfirnis mit schön grüner Farbe. Sandarak ist eine freiwillig oder aus Einschnitten in die Stämme und Äste eines in Nordwestafrika wachsenden Baumes (Callitris quadrivalvis Vent.) ausfließende Flüssigkeit, die an der Luft alsbald erhärtet.

Die Margarine (Kunstbutter und künstliche Speisefette).

Die Verwendung von Fetten und Ölen zu technischen Zwecken, welche wir auf den vorausgegangenen Seiten besprochen haben, ist eine seit langen Zeiten geübte. Die Seifenfabrikation ist uralt, die Benutzung von Talg zu Lichtern ist es ebenfalls, und die jetzigen unter dem Namen Stearinkerzen zusammengefaßten verbesserten Kerzen repräsentieren sie schließlich nur in sehr vervollkommneter Form unter gleichzeitigem teilweisen Ersatz des Talges durch andere geeignete Rohmaterialien. Ebenso verhält es sich mit den Firnissen und Lacken.

Dagegen gehört die Idee, tierisches Fett fabrikmäßig so umzuwandeln, daß es einen Ersatz der Butter, eine Kunstbutter liefert, ganz der jüngsten Zeit an. Sie hat im Laufe der letzten 25 Jahre eine neue Großindustrie gezeitigt. Weiter hat man in dieser Zeit gelernt, daß man, ohne sie zu schädigen, in solche Butter ziemlich viel Pflanzenöl — heute nur noch amerikanisches Baumwollsamenöl nebst etwas Sesamöl, wie wir sehen werden — hineinarbeiten kann, die auf diese Weise mit in die Kunstbutter übergehen und so Nahrungsmittel werden. Im Anschluß an die Kunstbutter, für die bei uns der Name Margarine obligatorisch ist, hat man dann künstliches Speisefett als Ersatz des Schweinefettes hergestellt. Dieses ist, wie wir sehen werden, eigentlich nichts anderes als eine möglichst weiße Kunstbutter von schmalzartiger Konsistenz.

Wir wollen hier von vornherein bemerken, daß die Margarine niemals im Geschmack die besseren Sorten der wahren aus Milch hergestellten Butter erreicht, daß dagegen die Verdaulichkeit, d. h. der Nährwert beider gleich ist. Für diejenigen Klassen der Bevölkerung, für welche die aus Milch hergestellte Butter zu teuer ist, ist sie deshalb ein sehr gutes Ersatzmittel für diese.

Setzen wir den Fall, sie wäre nicht erfunden, oder ihre Herstellung in Deutschland und ihre Einfuhr aus fremden Staaten würde verboten, so würden diese Kreise der Bevölkerung trotzdem aus Mangel an Mitteln unseren Landwirten, die zum Teil gerade hierin ein besonderes Glück für sich sehen zu sollen glauben, Butter nicht abkaufen können. Diese unsere Mitmenschen müßten ihren Bedarf an Fett, an Stelle der weit besser schmeckenden Kunstbutter dann hauptsächlich mittels amerikanischen Schweineschmalzes oder künstlichen Speisefetts zu decken suchen, da die europäischen Landwirte auch von Schweineschmalz nicht genug für den Gesamtbedarf dieses Erdteils zu liefern vermögen. Die außerordentliche Zunahme des Margarinekonsums auch in Ländern mit so hochentwickelter Viehzucht, wie Holland, der Schweiz oder Schottland beweist zur Genüge, daß diese überhaupt nicht mehr im stande ist, den Bedarf der großen Massen an Butter genügend billig zu decken, indem die Bevölkerung weit stärker als der Viehstand sich vermehrt hat.

Die Idee, Rinderfett in Kunstbutter zu verwandeln, ist von Frankreich ausgegangen. Napoleon III. wollte für seine Soldaten einen billigen und gutschmeckenden Ersatz für die damals noch weit teurere Naturbutter haben, und der mit der Durchführung dieser Idee betraute Chemiker Mége Mouriès löste die ihm gestellte Aufgabe in bester Weise.

Seine Methode ist in ihren Grundzügen die bis heute übliche geblieben. Diese Grundzüge sind: Möglichst frisches Rinderfett wird bei niedriger Temperatur ausgeschmolzen, die erhaltene ölige Flüssigkeit läßt man längere Zeit bei 25° stehen, worauf man die ausgeschiedenen Krystalle vom Flüssiggebliebenen trennt. Das Flüssiggebliebene wird sodann mit Milch im Butterfaß gebuttert, womit die Kunstbutter fertig ist.

Die Ausführung der Fabrikation im großen, die natürlich in den einzelnen Etablissements namentlich hinsichtlich maschineller Einrichtungen voneinander abweicht (unsere Abbildungen der Maschinen verdanken wir zumeist der Güte der Maschinenfabrik von Ch. Zimmermann in Köln-Ehrenfeld), ist etwa folgende.

Als tierisches Fett dient hauptsächlich Rinderfett, welches sowohl von Ochsen, Kühen, Kälbern wie Stieren stammen darf, aber auch Hammeltalg ist geeignet, ebenso Hirschtalg und ähnliches, welch letzterer den Fabriken wohl nur selten in erwähnenswerter Menge zur Verfügung steht. Die beste Margarine liefern das Nieren- und Lungenfett der Ochsen. Nun liegt es durchaus im Interesse der Fabrikanten selbst, diese Fette so sauber und so frisch als möglich zu verarbeiten, denn längeres Lagern des Rohfettes veranlaßt ebenso wie sein verkehrtes Ausschmelzen Fehler, die nicht mehr zu beseitigen sind, wie es denn überhaupt kein Mittel gibt, die einmal begonnene Zersetzung von Fetten, d. h. ihr Ranzigwerden aufzuhalten. Da nun selbstverständlich weniger gut schmeckende Margarine auch weniger wert ist als solche von angenehmem Geschmack, müssen die Fabrikanten also schon in ihrem eigenen Interesse möglichst sauber zu arbeiten suchen.

Und weil es mit dem Geschmack eine eigene Sache ist, müssen sie, ganz abgesehen vom Kostenpunkt, auch gegenüber den zuzusetzenden Pflanzenölen sehr vorsichtig sein. Hinsichtlich des Preises eignet sich nun zur Zeit bei weitem am besten das amerikanische

Baumwollsamenöl. Und was dessen Geschmack anbetrifft, so hat sich ergeben, daß nur solches, welches in Amerika aus frischen Samen gepreßt wurde, brauchbar ist. Schon das in England aus ihnen gepreßte, bei welchem die Samen also den Transport über See hinter sich haben, kommt ihm im Geschmack nicht mehr gleich.

Gereinigtes Baumwollsamenöl (s. S. 542) dient übrigens seit den siebziger Jahren stark zur Verfälschung von Olivenöl, ja hat es aus manchen Verwendungsarten ganz verdrängt: so soll bei der Herstellung der Ölsardinen überhaupt nur noch Baumwollsamenöl benutzt werden, bei denen es hiernach geradezu als Ersatz dient; kurzum die Annahme ist gerechtfertigt, daß wohl ein jeder von uns schon Baumwollsamenöl verzehrt hat. Wenn der Geschmack des Öles uns nicht gestört hat oder stört, so hat das ja auch nicht viel zu sagen. Baumwollsamenöl ist schließlich ebensogut ein Produkt des Pflanzenreichs, wie Olivenöl, welches erstere allerdings einem Reinigungsprozeß unterworfen werden muß, um genießbar zu sein. Aber müssen nicht die meisten Nahrungsstoffe erst gereinigt werden, bevor wir sie verzehren können.

Wir wollen hier bei dem Interesse, das der Frage der Margarine und der Speisefette entgegengebracht wird, deshalb auch Ausführliches über das Baumwollsamenöl mitteilen. Nach Pribyls Mitteilungen ist die Erzeugung von Baumwollsamenöl eine der wichtigsten Industrien von New Orleans. Die ersten zu seiner Herstellung im Jahre 1834 unternommenen Versuche mißlangen, nicht viel besser ging es im Jahre 1852, bis endlich 1855 die lohnende Fabrikation des Öles in Gang kam, die von da ab ununterbrochen gewachsen ist. Im Jahre 1867 gab es 7 Ölmühlen, 1882 bereits 57. Im Jahre 1880 waren in ihnen 2681 Pressen thätig, von denen jede täglich etwa 650 kg Samen verarbeiten konnte. Heute mag es in Nordamerika an 100 Mühlen für diesen Zweck geben.

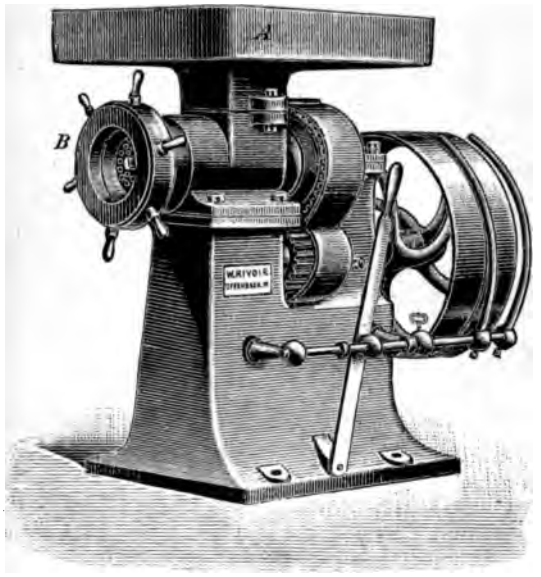
Der Ölgehalt der Samen ist vom Wetter abhängig. War die Witterung während ihres Ausreifens günstig, so enthalten sie es reichlich. 1000 kg von ihnen liefern im Durchschnitt 544,5 kg Kerne, und diese geben beim Auspressen 400 kg Preßkuchen, die zu Viehfutter dienen, und 144,5 kg Baumwollsamenrohöl. Der Same selbst leidet ebensowohl durch große Hitze, wie durch große Kälte. Bei entsprechender Lagerung und öfterer Durchlüftung bleibt er 12 Monate süß, verdirbt aber manchmal in der Zeit trotz aller Vorsicht. Für die Verwendung des Öles zur menschlichen Nahrung können also nur ganz frische Samen dienen. Im Jahre 1882 wurden 410000 t Samen auf Öl verarbeitet, das war nur 10% der geernteten Menge, wodurch sich das inzwischen möglich gewordene Wachstum dieser Industrie leicht erklärt.

Baumwollsamen wird in der Fabrik vorerst von allen Beimengungen an Staub und Schmutz gereinigt, indem er durch heftigen Luftzug gegen einen Wandschirm geblasen wird, so daß alle schwereren Körper herabfallen müssen. Die Samenkörner kommen sodann in die Putzmaschinen, deren Zähne die ihnen noch anhaftende Baumwolle abtrennen. Die so gereinigten Kerne gelangen weiter in einen Drehcylinder, welcher 24 walzenförmig gestellte Messer nebst vier gegenüber angebrachten Schneidemessern enthält, die sie möglichst zerkleinern. Hierbei erfolgt zugleich die Trennung der Hülsen von den Kernen. Die Hülsen dienen als Futter für Rindvieh. Die Kerne werden sodann einmal zwischen Walzen gepreßt, an denen das ausgepreßte Öl herabrinnt. Das so behandelte Material wird in wollene Preßsäcke zwischen Roßhaareinlagen, die mit geriffeltem Leder überzogen sind, damit das Öl leichter austreten kann, gethan und dann unter die hydraulischen Pressen gebracht. Nach 17 Minuten bereits ist das Auspressen des Öles, welches sich in einer Rinne sammelt, beendet. Der Rückstand führt den Namen Preßkuchen und dient ebenfalls als Futter. Soll das Öl als sogenanntes Rohöl verwandt werden, so kommt es ohne weiteres in die Versandgefäße. Soll es aber zu Speiseölzwecken dienen, so benutzt man hierfür nur die erste Pressung, und auch diese muß gereinigt werden. Die neueste Methode hierfür ist Aspinall im Jahre 1895 in Deutschland patentiert worden. Für sein Verfahren ist ein Behälter nötig, der die doppelte Menge des zu reinigenden Öles aufzunehmen vermag und behufs guten Durchrührens mit Rührschaufeln versehen ist. Oberhalb dieses Ölbehälters befinden sich noch Behälter für Salzwasser und Ätzlauge, ferner Röhren zum Einführen von warmem und kaltem Wasser in

den Ölbehälter, der auch mit einem Dampfmantel ausgestattet ist, welcher das Erwärmen seines Inhalts je nach Bedarf gestattet. Auch trägt er am Boden einen Ablaßhahn.

Das zu reinigende Öl bringt man auf 27° C., läßt dann Salzwasser zulaufen und rührt bis zur Erzielung einer möglichst innigen Mischung. Ist dieser Punkt erreicht, so läßt man die Natronlauge zufließen, gegen deren verseifende Kraft das vorherige Durcharbeiten mit der Kochsalzlösung sich als sehr nützlich erweist. Das Aussehen des Öles zeigt das Ende des Prozesses an, es muß nämlich eine auf eine Tafel gebrachte Probe ganz klar sein, wenn sie auch voll von kleinen dunklen Punkten ist. Hierauf wird das Rühren unterbrochen und Wasser von etwa 60° auf das Öl laufen gelassen. Im reichlich zugegebenen Wasser lösen sich beim Durcharbeiten alle Klümpchen, und schließlich schwimmt das nunmehr ganz klare Öl obenauf. Um es vom mechanisch beigemengten Wasser zu trennen, wird es noch auf 70° erwärmt, worauf es als Olivenöl marktfähig ist, wie es im Patente heißt.

Es ist beinahe unmöglich, gut gereinigtes Baumwollsamenöl von dem besten Olivenöl dem Geschmacke oder Geruche nach zu unterscheiden. Dessen Fälschung besteht meist darin, daß man zu einem Teil Olivenöl drei Teile Baumwollsamenöl gießt. Wie es hierin bereits um 1882 stand, geht aus folgenden Zahlen Pribyls hervor. 216 000 t des Öles gingen in jenem Jahre nach Frankreich und Italien. Diese Menge überstieg schon damals die Gesamtproduktion Frankreichs an Olivenöl und bildete etwa ein Fünftel von der Italiens.



517. Fettschneidemaschine.

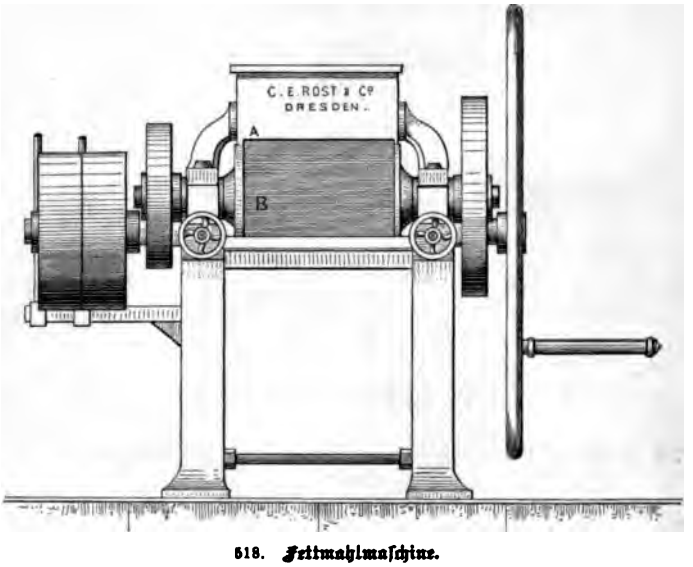
Da die Vereinigten Staaten von Amerika nur ein Zehntel dieser Menge als sogenanntes Olivenöl wieder einführen, ist es klar, daß nicht bloß das Volk, sondern schon zu der Zeit auch mancher Feinschmecker Europas seinen Salat mit dem Produkte aus Baumwollsamenkernen zubereitete, das war also lange vor der Zeit, in welcher Margarine und Speisefett für etwas so Fürchterliches erklärt worden sind. Schon damals ging übrigens auch einiges Baumwollsamenöl direkt von New Orleans nach dem amerikanischen Westen, um dort als reines Olivenöl verzehrt zu werden, ohne erst den Umweg über Europa gemacht zu haben. Hauptgrund für den großen Anklang, den das amerikanische Öl allmählich gefunden hat, ist der, daß es gänzlich geschmacklos ist, und daß es daher anderen vegetabilischen Ölen beigemischt werden kann, ohne die geringste im Geschmacke bemerkbare Änderung zu veranlassen.

Sogar den letzten Unterschied zwischen Baumwollsamenöl und Olivenöl, der darin besteht, daß ersteres Öl bei höherer Temperatur bereits anfängt, feste Teile auszuscheiden, hat man längst zu beseitigen gewußt. Man kühlt nämlich das Baumwollsamenöl absichtlich stark und preßt es hierauf von den erstarrten Teilen ab. So behandeltes Öl ist dann gewiß kaum noch vom Olivenöl zu unterscheiden. Die erstarrten abgepreßten Teile führen den Namen Baumwollstearin und gehen entweder in die Stearinkerzenfabrikation, oder werden auf Speisefett mit verarbeitet (siehe weiterhin).

Das in die Margarinefabrikation gelangende rohe tierische Fett, welches von an demselben Tage geschlachtetem Vieh herrührt, wird bei einer Temperatur von nur 45° ausgeschmolzen, weil ihre weitere Steigerung bereits ungünstig auf den Geschmack des fertigen

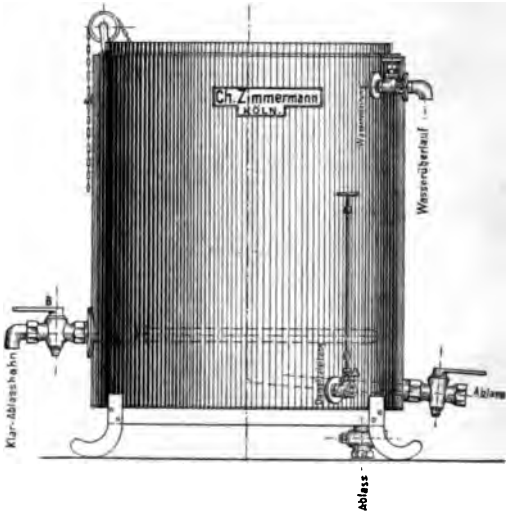
Produktes wirkt. Damit sich bei dieser Temperatur das Fett möglichst von seinen Gewebsteilen trennt, wird es nach gründlicher Waschung vor dem Schmelzen zerschnitten und passiert dann ein Paar sich drehender Stachelwalzen, die die möglichste weitere Zerreißung des Gewebes besorgen.

Wir geben hier die Abbildung einer Fettschneidemaschine nach Wilh. Rivoir in Offenbach wieder. Das in den Trichter A gegebene Fett verläßt im kleingeschnittenen Zustande bei B die Maschine und gelangt meist zugleich durch ein passend angebrachtes Zwischenstück auf den Trichter A der Fettmahlmaschine, wie sie z. B. C. E. Rost & Co. in Dresden für Hand- oder Maschinenantrieb liefert. Die pyramidenartig gestalteten Zähne der Walzen B zerstören durch ihre drückende und zugleich reißende Wirkung das Zellgewebe aufs vollkommenste.



518. Fettmahlmaschine.

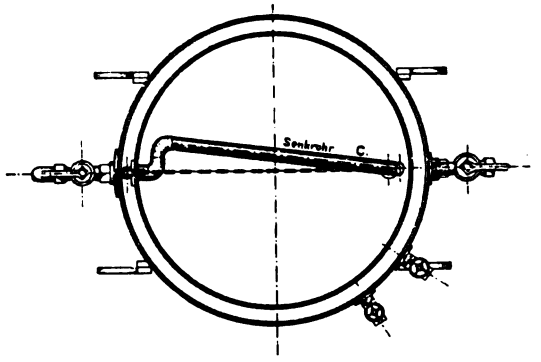
Das so vorbereitete Fett fällt in den eigentlichen Schmelzkessel. Dieser ist doppelwandig, und indem man das zwischen den Doppelwänden befindliche Wasser vermittelst Dampf, der durch Hahn A zugelassen wird, erwärmen kann, gelingt es, das im Kessel befindliche Fett bei der richtigen Temperatur zu schmelzen. Hat es sich in ihm ziemlich geklärt, so läßt man es durch den Hahn B ausfließen, an dem das Senkrohr C so in beweglicher Weise befestigt ist, daß möglichst alles klare Fett, welches jetzt ganz einem Öle gleicht, abgelassen werden kann. Den an den Gewebemassen hängen gebliebenen Rest läßt man möglichst abtropfen. Auspressen darf man diesen nicht, wenigstens nicht für die Margarinefabrikation, weil das so erhaltene Fett sich als für diese nicht brauchbar erwiesen hat. Ihr schließlicher Fettgehalt wird deshalb auf Stearinkerzen verarbeitet.



519. Schmelzkessel für Fett zur Margarinefabrikation.

Zur völligen Klärung gelangt das Fett jetzt in die auf 45° gehaltenen Temperierkessel, in denen die Zugabe von etwas Kochsalz die Klärung beschleunigt. Auch hier wird die Temperatur durch zwischen ihren Doppelwänden befindliches Wasser, in welches Dampf geleitet werden kann, dauernd auf der richtigen Höhe erhalten. Ein solcher Temperierkessel faßt etwa 1000 l und ist von innen verzinnt. Das nunmehr völlig geklärte Fett gleicht jetzt in seinem Aussehen durchaus dem Olivenöl. Es führt jetzt den Namen Premier jus. In flachen Schalen bleibt es in einem Raume stehen, der Sommer und Winter auf

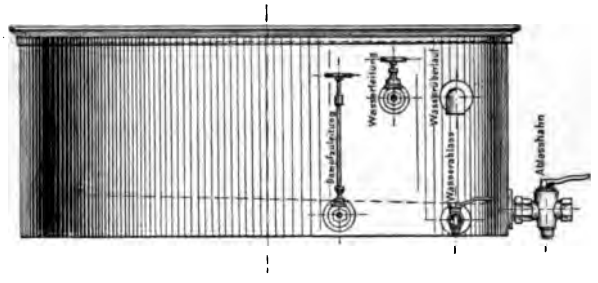
einer Temperatur von 25° erhalten wird. Solche Schalen liefert jetzt Rost z. B. aus einem Stücke gestanzt und hernach entweder emailliert oder verzinnt, wodurch ihre große Haltbarkeit gewährleistet wird. In ihnen scheiden sich aus der Flüssigkeit feste Partien aus. Diese bestehen hauptsächlich aus stearinsaurem und palmitinsaurem Glycerin. Je nach der Länge des Stehens scheidet sich natürlich mehr oder weniger von diesen beiden aus, wodurch der Fabrikant im stande ist, diesen Teil der Fabrikation ganz nach seinem Willen zu leiten. Im gleichen Raume steht auch eine hydraulische Presse, mit Hilfe deren bei 25° die Trennung des Flüssiggebliebenen vom Erstarrten erreicht wird. Die erhaltene Flüssigkeit ist das Oleomargarin. Es besteht hauptsächlich aus ölsaurem Glycerin, welches etwas palmitinsaures und wohl auch stearinsaures Glycerin gelöst enthält.



520. Anordnung des Senkrohrs im Schmelzkessel.

Der feste Preßkuchen, welchen die Presse geliefert hat, wandert in die Stearinkerzenfabrikation.

Dieses Oleomargarin, welches bei weiterem Abkühlen erstarrt, ist als solches Handelsware. Es wird in gewaltigen Quantitäten aus Amerika nach Europa versandt. In Europa liegen nämlich die Verhältnisse an den meisten Orten so, daß das Fett der Tiere seitens der Fleischer zugleich mit dem Fleische genügenden Absatz bei den Konsumenten findet, während in Amerika bei der Herstellung der großen Mengen von fettfreien Dauerfleischwaren das Fett der Tiere nur durch Verarbeiten auf Oleomargarin nützlich verwendet werden kann. Daher gibt es namentlich in Europa viele Margarinefabriken, in die niemals das Fett frischgeschlachteter Tiere kommt, sondern die nur gekauftes Oleomargarin weiter verarbeiten.



521. Temperierkessel von Ch. Zimmermann in Köln.

Die Überführung des Oleomargarins in die Margarine, in die Kunstbutter also, erfolgt so, daß man es mit Milch und Baumwollsamenöl gut durcharbeitet. Dazu dient z. B. nebenstehender Apparat, welcher als Kernmaschine bezeichnet wird. Eine solche Maschine hat einen Inhalt von etwa 1000 l und ist mit einem doppelten Riemenantrieb behufs schnelleren und langsameren Ganges versehen. Das Rührwerk hat gebogene, nach der Mitte zu schöpfende, vielfach durchlöcherte Schläger, welche das Material nach der Mitte treiben und ununterbrochen gegeneinander werfen. Die Rührachsen sind der Arbeit entsprechend kräftig gehalten und machen etwa 100 Touren in der Minute. Diese Art der Durchmischung gewährleistet die Herstellung einer vorzüglichen Margarine in kürzester Frist. Der Boden des inneren Kessels ist des leichteren Entleerens halber dem Auslauf zugeneigt. Der Deckel ist mit einem Schraubenverschluß versehen, der die Maschine handlich und leicht abzudichten gestattet. Auf dem Deckel sind um die Rührachsen metallene Tulpen als Schlüsse angebracht, damit nicht etwa Schmieröl an das zu verarbeitende Material gelangt, außerdem sind zum Entweichen der Luft während der Arbeit

522. Kryſtalliſationsſchale.

Namen Leinölsäure führt, im Ricinusöl finden wir die Ricinölsäure u. s. w. Im Baumwollsamenöl finden wir die gewöhnliche Ölsäure nebst einer zweiten. Die Glycerinverbindung der ersten hindert das Trocknen, die der zweiten ermöglicht es, und so gehört das Baumwollsamenöl zu den schlecht trocknenden Ölen.

Das Trocknen der Öle beruht nun auf ihrer Oxydation an der Luft, sie sollen dünn auf Flächen gestrichen 50% ihres Gewichts an Sauerstoff aufnehmen können. Ihre Neigung, sich zu oxydieren, und damit die Schnelligkeit ihres Trocknens wird sehr beschleunigt, wenn man sie mit Substanzen kocht, die Sauerstoff abgeben können. Die hierdurch eingeleitete Oxydation vollendet sich hernach bei ihrem Aufstreichen auf Flächen weit rascher, als es ohne diese Vorbereitung der Fall ist. Von altersher diente zu diesem Zwecke das Bleioxyd. Man hat aber auch die verschiedensten anderen Mittel während des Kochens zugesetzt, und ganz besonders bewährt hat sich das von Barruel und Jean empfohlene borsaure Mangan. Man erhält diese Verbindung als weißen Niederschlag, wenn man zu einer Lösung von schwefelsaurem Mangan (s. S. 400) eine Boraxlösung setzt. Nach dem Trocknen kann sie sogleich ihrem Zwecke dienen, und ein Teil von ihr soll zur Beförderung des schnellen Trocknens von tausend Teilen gekochten Leinöls ausreichen. Solches durch die eingeleitete Oxydation zum raschen Trocknen vorbereitete Leinöl ist es nun, welches mit Farben angerieben als „Ölfarbe" in der Malerei dient.

Bestreicht man mit derartigem präparierten Leinöl Flächen irgend welcher Art, so wird es auf ihnen nach dem Trocknen als glänzender Überzug haften, und sind die Flächen z. B. mit Wasserfarbe vorgestrichen gewesen, so wird diese durch den Überzug vor der Abwaschbarkeit geschützt sein. So behandelte Flächen bezeichnet man als gefirnißt.

Doch wird der Begriff Firnis etwas weiter gefaßt, als es nach dieser Angabe scheinen könnte. Man nennt nämlich Firnis auch die Flüssigkeiten, welche man durch Auflösen von Harzen in Spiritus oder Terpentinöl erhält, bezw. die Flüssigkeit, welche man durch Auflösen von Kopal oder Bernstein in gekochtem Leinöl, dem man meist Terpentinöl zusetzt, erhält. An Stelle von Spiritus hat man in neuerer Zeit auch Aceton (s. S. 505) und ähnliche andere leichtflüchtige Lösungsmittel benutzt. Nach ihrer Verdunstung hinterbleibt das gelöst gewesene Harz als dünner glänzender Überzug auf den mit ihnen gefirnißten Gegenständen. Gleichbedeutend mit Firnis ist hier die Bezeichnung Lack. Je schneller das Lösungsmittel verdunstet, um so schneller trocknet der Lack, aber die so hergestellten Überzüge sind lange nicht so haltbar, wie die eigentlichen Leinölfirnisse, bei denen also nichts verdunstet, sondern die Masse als solche eintrocknet.

Zur Darstellung von Leinölfirnis schmilzt man z. B. 10 Teile Kopal oder Bernstein in einem Kessel ein und gibt zu dem geschmolzenen Harz 20—30 Teile kochenden Leinölfirnis, worauf man kurze Zeit sieden läßt. Nachdem sich sodann das Gemisch bedeutend abgekühlt hat, fügt man noch 25—30 Teile Terpentinöl zu.

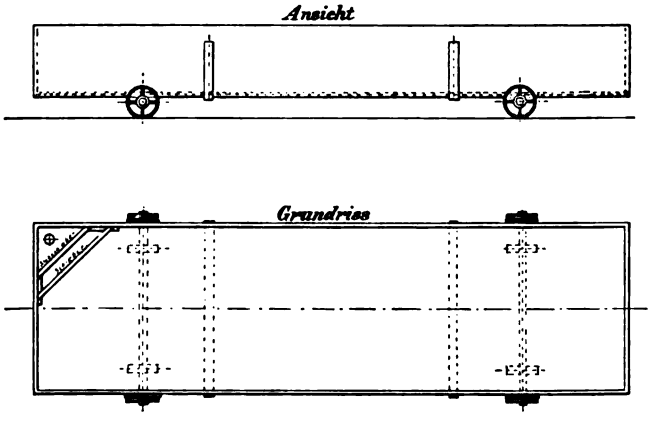
Die Färbung von Firnissen erreicht man teilweise mit Anilinfarben, weit echter aber auf anderem Wege, obgleich ihr jetzt schon in den fetten Lacken lösliche Teerfarbstoffe zur Verfügung stehen, die so widerstandsfähig sind, daß die Lackierungen 95° C. Hitze ertragen, ohne sich zu verändern. So erhält man echten grünen Firnis so, daß man z. B. Sandarakharz in Natronlauge (die Löslichkeit von Harzen in Natronlauge ist uns ja bekannt) löst und eine Kupferlösung zugießt. Das ausfallende harzsaure Kupfer löst sich nach dem Trocknen im Lackfirnis mit schön grüner Farbe. Sandarak ist eine freiwillig oder aus Einschnitten in die Stämme und Äste eines in Nordwestafrika wachsenden Baumes (Callitris quadrivalvis Vent.) ausfließende Flüssigkeit, die an der Luft alsbald erhärtet.

Die Margarine (Kunstbutter und künstliche Speisefette).

Die Verwendung von Fetten und Ölen zu technischen Zwecken, welche wir auf den vorausgegangenen Seiten besprochen haben, ist eine seit langen Zeiten geübte. Die Seifenfabrikation ist uralt, die Benutzung von Talg zu Lichtern ist es ebenfalls, und die jetzigen unter dem Namen Stearinkerzen zusammengefaßten verbesserten Kerzen repräsentieren sie schließlich nur in sehr vervollkommneter Form unter gleichzeitigem teilweisen Ersatz des Talges durch andere geeignete Rohmaterialien. Ebenso verhält es sich mit den Firnissen und Lacken.

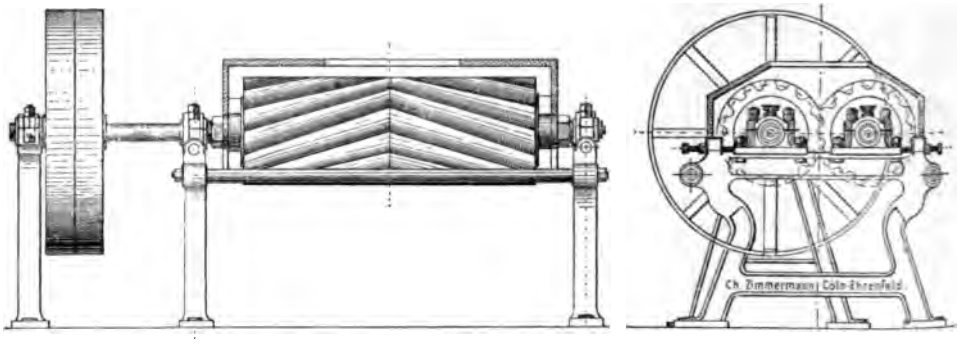
liefert. So kann denn weniger gut schmeckende Margarine, ohne daß etwa schlechtes Fett zu ihrer Herstellung gedient hat, doch sehr billig geliefert werden.

Bei der Mischung der Materialien wird so verfahren, daß zuerst die Milch und das Pflanzenöl miteinander durchgearbeitet werden. Die Milch kommt als Vollmilch oder auch als Magermilch, je nach den zu erzielenden Qualitäten der Margarine, zur Verwendung. Ist die nötige Mischung dieser beiden erzielt, so läßt man das kaum bis auf seinen Schmelzpunkt erhitzte Oleomargarin zufließen. Letzteres ist durch Curcuma oder Orlean vorher auf die nötige buttergelbe Farbe gebracht worden. Die genannten Stoffe sind die gleichen, welche auch zur Färbung der Naturbutter Verwendung finden. Was die Mengenverhältnisse anbetrifft, so nimmt man 35—40% des Oleomargarins an Milch und begnügt sich bei den besten Sorten Margarine mit 10—15% Pflanzenöl.



525. Margarinetransportwagen.

Ist das Gemisch in der Kernmaschine völlig gleichmäßig geworden, so läßt man es in untergestellte Wagen fließen, in denen es sofort mit Eiswasser in Berührung kommt.



Vorderansicht. 526 u. 527. Margarinewalzmaschine. Seitenansicht.

Durch die plötzliche Abkühlung erstarren die bisher flüssigen außerordentlich kleinen Fetttröpfchen der Mischung, und damit nimmt das Ganze erst Butterkonsistenz an.

Hat sich die Butter möglichst vollständig auf dem Eiswasser angesammelt, was nach einigem Stehen der Fall ist, so führt sie der Wagen, der etwa 4 m lang und so breit und hoch ist, daß er unter die Walzmaschine geschoben werden kann, unter diese.

Eine solche Walzmaschine hat meist gerippte Walzen von etwa einem Meter Länge und 400 mm Durchmesser, die aus Holz hergestellt sind, weil sich dieses hier am besten bewährt. Ihre Riemscheiben haben einen Durchmesser von 1 m. Jede Walze ist verstellbar und hat auf soliden Eisenständern ruhende Lagerungen, so daß das Abpressen der Margarine in jeder gewünschten Weise erfolgen kann. Die so erhaltene Margarine wird mit etwas Salz bestreut. Nach einigem Lagern wird sie sodann mittels einer Knetmaschine in eine völlig gleichmäßige Masse verwandelt. Bei der von uns abgebildeten Knetmaschine von Rivoir rotiert sowohl der Tisch wie auch die Knetwalze, was rasch zum gewünschten Ziele führt. Jetzt wird sie in Buchenholzfässer gestampft und ist Handels-

ware. Soll sie in die Ziegelform der Naturbutter gebracht werden, so bedient man sich auch hierzu einer Maschine.

Eine solche Margarinebutterformmaschine besteht z. B. aus einem Cylinder, aus welchem ein Stempel die Butter als vierkantigen Streifen herauspreßt, welcher in Stücke von passender Länge zerschnitten wird. Die Abbildung derselben s. S. 570.

Die Übergangszeit, in der wir leben, in welcher das bewegliche Kapital gegenüber dem im Grundbesitz festliegenden anfängt das Übergewicht zu gewinnen, hat seitens der Vertreter des letzteren viele merkwürdige Blüten zu seiner Festigung und zur Erhöhung seines Ertrages gezeitigt. Der allermerkwürdigste Auswuchs wird aber wohl der bleiben, den ärmeren Bevölkerungsklassen ein Nahrungsmittel „verekeln" zu wollen, weil das bewegliche Kapital an seiner Herstellung beteiligt ist, damit sie das entsprechende von den Grundbesitzern gelieferte teurere Produkt kaufen müssen, vorausgesetzt, daß sie überhaupt die Mittel dazu haben. Es ist nämlich allen Ernstes der Vorschlag gemacht worden, in Deutschland eine gesetzliche Bestimmung zu erlassen, laut welcher alle Margarine blau gefärbt werden muß. Damit allerdings wäre sie wohl beseitigt, denn ein mit blauer Margarine bestrichenes Brot wird schwerlich jemand genießen wollen, da es sich bei der Nahrungsaufnahme nicht nur um den rein physischen Vorgang der Ernährung handelt, sondern sicher auch seelische Empfindungen bei ihm mit in Wirkung treten, und blaues Brot oder blaue Kartoffeln den Durchschnittsmenschen anwidern. Nachdem dieser abenteuerliche Vorschlag nicht durchgedrungen war, beabsichtigte man, die Margarine latent zu färben, d. h. ihr einen Stoff zuzusetzen, welcher auf die leichteste Weise durch irgend einen Zusatz in eine Farbe übergeht, damit sie sofort von der Naturbutter unterschieden werden kann; solcher Stoffe liefert die Anilinfarbenindustrie viele. Schließlich hat dann das Gesetz bestimmt, daß in alle Margarine etwas Sesamöl mit verarbeitet werden muß. Dieses läßt sich nämlich hernach leicht chemisch in der Margarine nachweisen, wodurch deren betrügerischer Verkauf als Naturbutter bequem erkannt werden kann.

528. Margarineknetmaschine.

Wenn wir uns jetzt zu den Speisefetten wenden, so werden wir uns in Kürze über ihre Fabrikation, nachdem wir die der Margarine so ausführlich besprochen haben, klar werden.

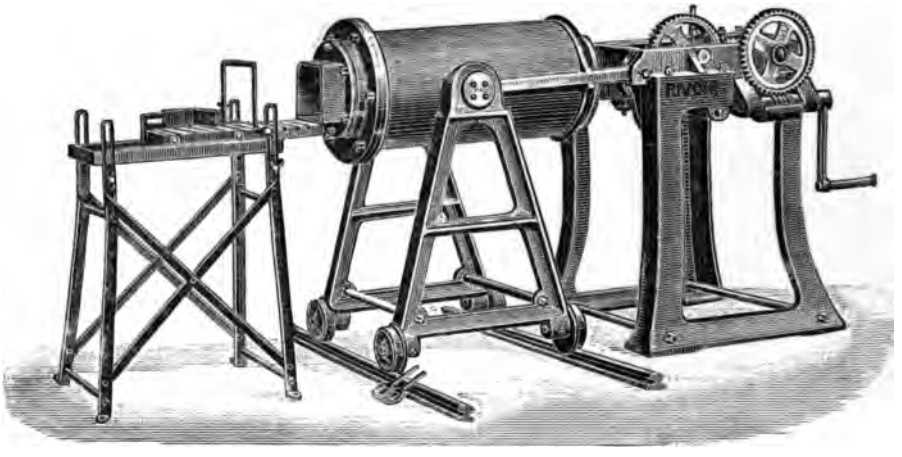
Speisefette verhalten sich zum Schmalz, wie Margarine zur Butter, Speisefette sollen also dem Schmalz möglichst ähneln. Zu ihrer Herstellung dienen als harte Komponenten Premier jus von Rindern oder von Hammeln, oder auch geradezu Talg, also ausgelassenes Rohfett, die mit Hilfe von Baumwollsamenöl, aber ohne jeden färbenden Zusatz, auf Schmalzkonsistenz gebracht werden. Auch hier wird nur noch dieses Öl verwendet, und es hat das teurere Sesam- und Erdnußöl, die noch vor wenigen Jahren ebenfalls benutzt wurden, völlig verdrängt. Manche Speisefette bestehen auch teilweise aus Schweineschmalz, indem dieses mit in sie hineingemischt wird.

Da selbstverständlich hierzu nur billiges amerikanisches Schmalz Verwendung finden kann, waren die ehemaligen schmalzfreien Sorten vielleicht vorzuziehen, denn wenn die Angaben einzelner Autoren über die Herstellung dieses billigen Schmalzes zutreffen, so hatten die europäischen Staaten gewiß recht, zu erklären, daß sie nur noch dort unter staatlicher Kontrolle hergestelltes Schmalz in Europa zulassen. So teilte Grimshaw im Jahre 1889

folgendes mit: In die Schmalzkessel der modernen „Pork Packers“ in den Vereinigten Staaten wandert einfach alles, was sonst nicht zu gebrauchen ist. Vor Gericht unter Eid vernommene Zeugen haben ausgesagt, daß nicht etwa in vereinzelten Fällen, sondern allgemein gebräuchlich, alle zum Pökeln unbrauchbaren Teile ohne Ausnahme zur Schmalzfabrikation verwendet würden. Nicht nur ekelerregende Teile gesunder Tiere, sondern auch kranke Teile verletzter Schweine u. s. w., kurzum all dieser „Abfall“ sei der Rohstoff der amerikanischen Schweineschmalzfabrikation.

Um den Speisefetten ein angenehmes an Butter erinnerndes Aroma zu verleihen, setzen die Fabrikanten während der Fabrikation ihrem Gemisch auf je 100 kg etwa 40 g Buttersäure zu, wodurch sie dieses wirklich erreichen. Gut hergestellte Speisefette sind von fast unbegrenzter Haltbarkeit, während der Milchzusatz die Haltbarkeit der Margarine zu einer beschränkten macht.

Man schätzt die Menge der Margarine, die zur Zeit in Deutschland hergestellt wird, auf 100—125 000 000 kg jährlich, über Speisefette liegen keine Zahlen vor. Die Einfuhr von Baumwollsamenöl ins Deutsche Reich betrug 1885 8000, 1891 23 165, 1896 26 046 t, von denen 9530 t für Nahrungsmittel, 17 516 t für industrielle Zwecke, also namentlich in der Seifenfabrikation, verwertet wurden.



529. Margarineformmaschine.

Die ätherischen Öle sowie ihre Verwendung in der Likörfabrikation und in der Parfümerie.

Unter „ätherischen Ölen“ versteht man in Pflanzen vorkommende Verbindungen, welche zwar an und für sich sehr hoch sieden, trotzdem aber mit Wasserdämpfen leicht flüchtig sind. Daher bereitet ihre Gewinnung verhältnismäßig nur geringe Schwierigkeit, sobald sie irgendwie reichlich in den Pflanzen vorhanden sind. Man braucht nur diese mit Wasser zu kochen, dann verflüchtigen sie sich mit den Wasserdämpfen und laufen mit dem Destillate zusammen aus dem Kühler ab. Zu solchem Zweck kann z. B. der beifolgend (Abb. 530) abgebildete Apparat von Bitter dienen.

Der schmiedeeiserne Ofen D kann mit Holz, Kohlen oder Koks gefeuert werden. Die auf ihm befindliche, aus Kupfer hergestellte und innen verzinnte Destillierblase kann leicht herausgehoben und nach der Benutzung entleert werden. Sie ist mit einem Tubus A zum Nachfüllen versehen und trägt einen starken Messingring, in welchem der Helm B absolut dicht schließt. Die im Kühlfaß C liegende Kühlschlange ist aus leicht zu reinigenden Winkelrohren zusammengesetzt.

Statt die Pflanzenteile mit dem Wasser auf direktem Feuer zu kochen, kann man die Destillation auch durch in die Flüssigkeit geleiteten Dampf bewirken. Einen hierzu geeigneten Apparat sehen wir Seite 321 abgebildet. Schließlich verfährt man auch

so, daß man das Wasser ganz fortläßt und die Gewinnung des ätherischen Öles mit Hilfe von Dampf, welcher direkt durch die aufgeschichteten Pflanzenteile geleitet wird, erzielt.

Diese Gewinnungsmethode wird nach dem Patent von Schimmel & Co. in folgender Weise ausgeführt (Abb. 531).

Im Apparate A liegt in einer Entfernung von 0,2 m vom unteren, etwas vertieften Boden ein zweiter, siebartiger Boden a, auf den das vom Dampf zu durchströmende Material kommt. Damit bei seiner Höhe dieser sich in ihm nicht abkühlt, ist eine Dampfheizschlange an den inneren Wandungen des Apparates entlang geführt. Das sich trotzdem in geringer Menge in ihm sammelnde Kondensationswasser wird durch die unter dem Siebboden liegende Heizschlange c immer wieder verdampft. Die beiden Rührwellen g dienen dazu, den Inhalt des Apparates während der Destillation umzuarbeiten. Die mit dem Dampf fortgerissenen Öle entweichen durch das Helmrohr l in den Schlangenkühler B, werden hier kondensiert und fließen vermischt mit Wasser durch das Ausflußrohr m in die Sammelrinnen n. Die mit B bezeichnete Kühlvorrichtung besteht aus mehreren Bündeln doppelwandiger Cylinder, deren innerer mit den Destillationsprodukten und deren äußerer mit Kühlwasser gefüllt ist, welches entgegengesetzt der Einströmung der Öle zugeführt wird. Zugleich ermöglicht der Apparat weiter die Gewinnung derjenigen Menge ätherischen Öles, welches im Destillationswasser (s. weiterhin beim Rosenöl) gelöst bleibt, sich also nach dessen Erkalten nicht aus ihm ausscheidet. Zu dem Zwecke wird dieses Wasser durch die Sammelrinne n der Vorlage I zugeführt, und nachdem es, dem Zufluß entsprechend, auch die Vorlagen II und III passiert hat und genügende Zeit hatte, das suspendierte Öl in allen Vorlagen auszuscheiden, fließt es aus der letzten Vorlage in das Reservoir C, welches durch Rohr und Ablaßhahn, die in der Abbildung nicht wiedergegeben sind, mit einem zweiten Destillierapparat D in Verbindung steht. Sobald sich nun in dem Reservoir C eine genügende Menge ölhaltigen Wassers angesammelt hat, wird der mit einer Heizschlange o versehene Destillierapparat D in geeigneter Weise angefüllt und in Betrieb gesetzt. In kurzer Zeit wird dem Wasser das flüchtige Öl entzogen und mit dem Dampf durch das Rohr E in einen Kühler B^1 übergeführt, der ganz dem Kühler B entspricht, aber auf der Zeichnung nicht besonders angegeben ist, hier verdichtet und durch die gemeinschaftliche Sammelrinne n in die Vorlage I u. s. w. übergeführt. Das in D von allem Öl befreite siedende Wasser wird jetzt durch einen Ablaßhahn F aus dem Destillierapparat D entfernt. Die Ersparnis an Dampf gegenüber älteren Apparaten soll etwa 60% betragen.

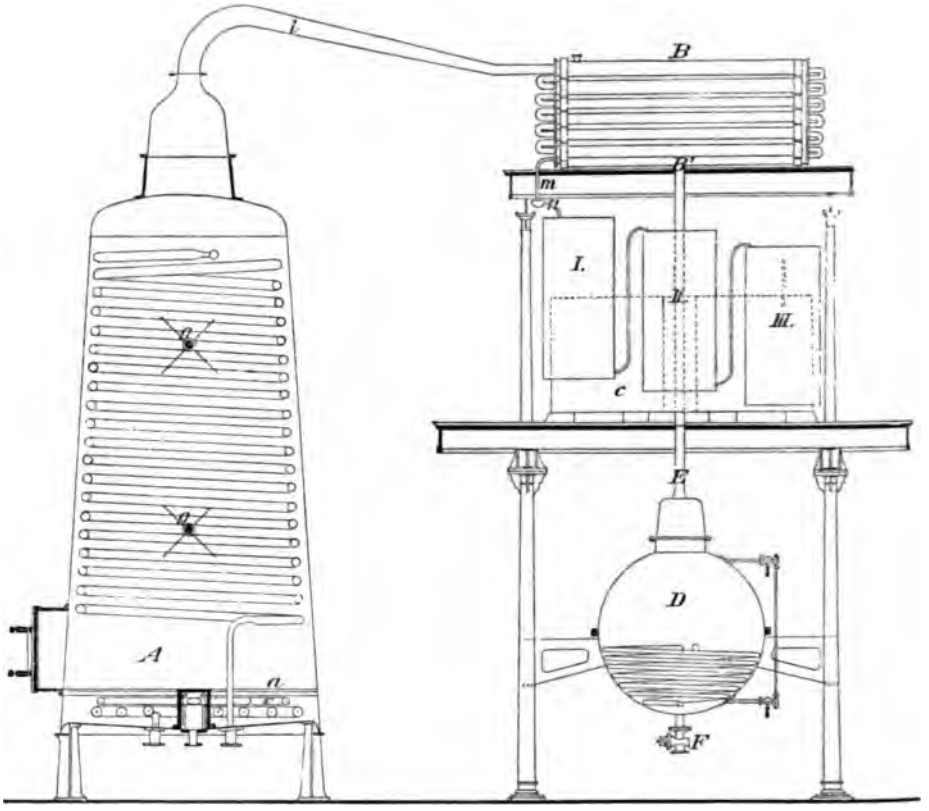
580. Destillierapparat zur Gewinnung ätherischer Öle von Bitter.

Da die ätherischen Öle fast alle im Wasser beinahe unlöslich sind, schwimmen sie je nach dem spezifischen Gewicht entweder auf dem destillierten Wasser, mit welchem sie übergetrieben wurden, oder liegen am Boden desselben. Die meisten schwimmen übrigens auf Wasser, und um sie von diesem zu trennen, läßt man das Destillat, wenn es sich um kleine Mengen handelt, in eine sogenannte Bologneser Flasche laufen. Aus dieser wird, wenn sie bis über A gefüllt ist, das Wasser bei B ablaufen, während das auf ihm

schwimmende Öl sich in ihr ansammeln wird. Im obigen großen Apparate hat sie die Form der Reservoirs I, II, III angenommen.

Außer dieser Hauptgewinnungsmethode der Dampfdestillation kommt noch das Auspressen mancher Pflanzenteile in Betracht, so werden auf letzterem Wege das Zitronenöl, das Bergamottöl und einige andere gewonnen. Hierfür eignen sich natürlich nur sehr ölreiche Materialien.

Nun gibt es anderseits auch Pflanzen, die so arm an Öl sind, daß seine direkte Gewinnung unmöglich wird, während die Parfümerie trotzdem ihren Wohlgeruch festzuhalten wünscht. Das geschieht dann so, daß diese Pflanzen als solche in Öle oder Fette gelegt werden, die ihren Geruch annehmen.



531. Apparat zur Gewinnung ätherischer Öle nach dem Patent von Schimmel & Co.

Die chemische Zusammensetzung der ätherischen Öle schwankt außerordentlich. Der Unterschied zwischen ihnen und den fetten Ölen, wie Olivenöl, besteht darin, daß die letzteren mit Wasserdämpfen nicht flüchtig sind. Sie erzeugen daher auf Papier einen bleibenden Fettfleck, während er, wenn er von einem ätherischen Öl herrührt, in dem Maße, als sich dieses verflüchtigt, wieder verschwindet. Viele ätherische Öle sind recht beständig. Andere erstarren wiederum, wenn sie aus den Pflanzen ausfließen, weil der Luftsauerstoff sie oxydiert. Das hierbei entstehende Produkt nennt man Harz. Erstarrt nur ein Teil des Öles, so daß sich eine halbflüssige Masse bildet, so nennen wir sie Balsam oder Terpentin. Auch die Kampferarten gehören hierher. Sie sind kristallisierte Verbindungen, die sich in manchen Pflanzen finden, die sich aber ganz nach Art der ätherischen Öle durch Destillation mit Wasserdampf gewinnen lassen, man möchte sagen, sie sind kristallisierte ätherische Öle.

Die chemische Zusammensetzung der ätherischen Öle ist meist eine sehr komplizierte, so daß es ganz unmöglich ist, hier näher auf sie eingehen zu wollen. Erst Arbeiten, die

seit zehn Jahren etwa, auf früheren wenig erfolgreichen Versuchen fußend, mit bewundernswerter Geistesschärfe durchgeführt worden sind, haben auf diesem Gebiete Licht geschaffen und bilden die sichere Grundlage, auf welcher weiterbauend wohl allmählich völlige Klarheit in ihren Zusammenhang untereinander gebracht werden wird. Sie gehören mit zu dem Schwierigsten, das überhaupt auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Chemie in Angriff genommen und mit Erfolg weitergeführt worden ist.

Ihre Verwendung finden die ätherischen Öle teils in der Pharmacie, teils zum Aromatisieren von Zuckerwaren, zumeist aber in der Parfümerie. Zu sonstigen Zwecken sind sie mit Ausnahme des Terpentinöls, dessen Benutzung bei der Firnisbereitung wir früher kennen lernten, meist viel zu teuer. Die Zusammenstellung, die Emmerling im Handwörterbuch der Chemie von Ladenburg im Jahre 1890 geliefert hat, zählt bereits 216 verschiedene Öle auf, von denen wir hier die allerwichtigsten kennen lernen wollen.

Das in größten Mengen verwendete ist das Terpentinöl. Es wird aus dem Terpentin gewonnen, und darunter versteht man den Balsam der Abietineen. Diese sondern ihn wohl freiwillig ab, doch beschleunigt man sein Ausfließen durch Einschnitt in den Stamm der Bäume. Pinus silvestris dient diesem Zweck in Deutschland, Abies excelsa im nördlichen Europa, während im südlichen Europa Larix europaea hauptsächlich in Benutzung ist. Die kolossalen Quantitäten, welche Nordamerika liefert, stammen von Abies balsamea sowie Pinus strobus und nahe verwandten Arten. Der ausfließende Balsam bildet eine zähflüssige Masse, die beim Stehen einen körnigen Absatz liefert. Man trennt das Feste von dem Flüssigen durch Destillation. Ehemals destillierte man direkt, heute zieht man die Destillation mit Dampf vor. Das Destillat ist das Terpentinöl, während der Rückstand Kolophonium heißt.

582. Bolognefer Flasche.

Es sei hier nebenbei bemerkt, daß es auch eine Industrie gibt, welche das Kolophonium wiederum destilliert. Dieses liefert hierbei die Harzöle des Handels. Wir geben hier die Abbildung einer solchen Destillationsanlage auf S. 574 wieder, wie sie z. B. Wilhelm Rivoir in Offenbach ausführt. Da die Destillation des Kolophoniums sehr hohe Temperaturen erfordert, ist der Destillationskessel A durch Verschweißen der Bleche, aus denen er besteht, hergestellt, indem bei Kesseln, deren Bleche durch Nieten zusammengehalten werden, die Gefahr des Undichtwerdens nicht auszuschließen ist. Er hat eine leicht zu öffnende Verschlußvorrichtung B, die auf der Zeichnung geöffnet ist und zeigt, wie die Füllung des Kessels von einem Nebenraum aus durch die Wand besorgt wird, um Feuersgefahr möglichst auszuschließen. Durch den Helm C gelangt das bei der Destillation sich Verflüchtigende in eine Kühlschlange, die im Fasse D liegt. Die sich bildenden Gase, welche sich also in der Schlange nicht wieder verflüssigen, werden als solche durch das Rohr E abgeleitet, während die Harzöle in den Behälter F fließen, der ebenfalls zur Sicherheit gegen Feuersgefahr vom Destillierraum durch eine Wand getrennt ist.

Die wichtigste Verwendung des Harzöles ist die zu Wagenschmierfetten. Zu ihrer Herstellung wird es mit pulverigem gelöschten Kalk so lange unter Umrühren gekocht, bis sich eine ganz gleichmäßige Masse gebildet hat, doch soll die Herstellung eines guten Wagenschmierfettes viel Erfahrung erfordern. Auch zur Herstellung des Brauerpechs findet es Verwendung, indem man von ihm dem Harz, welches zum Auspichen der Fässer dient, zusetzt, damit der Überzug weniger spröde wird und nicht so leicht abspringt.

Das Terpentinöl aus verschiedenen Gegenden liefert bei der Destillation keine identischen Terpentinöle, sondern die Handelssorten drehen die Ebene des polarisierten Lichtes bald nach rechts, bald nach links. Der Siedepunkt der Handelsware schwankt auch zwischen 160—180°, und die chemische Untersuchung hat gezeigt, daß das Handelsprodukt ein Gemenge verschiedener Terpene ist. Unter Terpenen versteht man Kohlenwasserstoffe von der Formel $C_{10}H_{16}$.

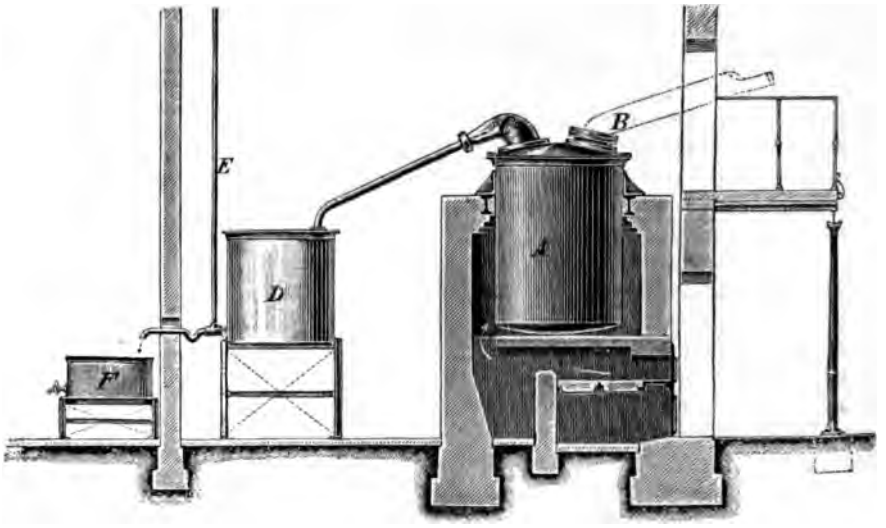
Weiter wollen wir jetzt zu den wichtigsten in der Medizin, in der Likörfabrikation und in der Parfümerie Verwendung findenden Ölen übergehen. Es sind die folgenden:

Das Anisöl, oleum anisi, welches durch Dampfdestillation der Samen von Pimpinella anisum gewonnen wird. Es besteht aus einem Terpen und 90—95 % Anethol. Die Zusammensetzung des letzteren ist völlig aufgeklärt, es ist der Methylester des Propenylphenols, und Anethol kann daher synthetisch im Laboratorium hergestellt werden.

Das Kalmusöl, oleum Calami, ein gelblichbraunes, sehr bitter schmeckendes Öl, welches chemisch noch nicht genau erforscht ist.

Das Nelkenöl, oleum Caryophyllorum, welches aus den getrockneten Blütenknospen von Caryophyllus aromaticus, das sind die Nelken, die sehr reich an ihm sind, gewonnen wird. Es besteht aus einem Terpen und Eugenol. Dieses letztere ist der Methylester eines Allyldioxybenzols. Das Eugenol läßt sich durch Oxydation in Vanillin als künstliche Vanille verwandeln, doch ist diese ältere Methode von dessen Herstellung bereits durch billigere ersetzt worden.

Beim Kümmelöl, oleum carvi, haben wir zwei Sorten zu unterscheiden. Das aus Carvum carvi gewonnene Öl besteht aus einem Terpen und Carvol, welches letztere ein Ketoderivat des Dihydrocymols ist. Dagegen besteht das aus Cuminum Cyminum



533. Harzdestillations-Anlage von Wilh. Rivoir.

gewonnene Öl aus Cymol, welches Paramethylnormalpropylbenzol ist, und aus Cuminol, von dem die Untersuchungen gelehrt haben, daß es Paraisopropylbenzaldehyd ist.

Das Zimtöl, oleum cinnamomi, hat zum Hauptbestandteil den Zimtaldehyd, der auch im Laboratorium mit Leichtigkeit künstlich hergestellt werden kann.

Das vielverwendete Senföl, oleum sinapis, ist der Allylester der Isothiocyansäure und wird, seitdem dieses erkannt worden ist, massenhaft künstlich hergestellt.

Eine ganze Reihe von Ölen, welche für die Parfümerie von größter Wichtigkeit sind, liefern die Citrusarten. Der Zitronenbaum liefert das Zitronenöl, die Orange das Orangenöl, die bittere Orange das Pomeranzenöl und die Bergamotte das Bergamottöl.

Die Gewinnung des Zitronenöls, des Bergamottöls und des Orangenöls erfolgt noch immer in uralter Art, ohne daß diese bisher zu verdrängen gewesen wäre. Zu ihrer Herstellung dienen alle Früchte, die sich wegen Formfehler oder aus sonst einem Grunde nicht zum Export eignen. Sie werden geschält, worauf der Arbeiter mit einem Schwamm die Schalen ausdrückt. Ihr Saft und Öl gehen in den Schwamm über, der seinerseits wieder von Zeit zu Zeit über einem Gefäß entleert wird. Im Gefäße hat man schließlich das Öl, welches auf dem Safte schwimmt, in welch letzterem sich die Schmutzteilchen zu Boden setzen. 1000 sizilianische Zitronen liefern durchschnittlich 76 l Saft und 420 g Öl.

Das Öl dieser Früchte auf dem Wege der Destillation gewinnen zu wollen, ist nicht angänglich, weil es beim Anwärmen an Wohlgeruch verliert; schon durch mehrmonatliches Lagern verliert es meist sehr im Wert. Am meisten wird in der Parfümerie das Bergamottöl verwendet, da es die Grundlage zahlreicher Produkte derselben bildet. Im Kölnischen Wasser ist es z. B. reichlich vorhanden.

Außer aus den Schalen der Orangen wird auch aus ihren Blüten, und zwar hier auf dem Wege der Destillation mit Wasserdampf, viel Orangenblütenöl erzeugt, die feinste Sorte von diesem führt im Handel den Namen Neroli pétale.

Das Bittermandelöl wird auch in großen Massen hergestellt. Nur haben bittere Mandeln heute gar nichts mehr mit ihm zu thun. Außer in diesen findet es sich nämlich auch in den Kernen sehr vieler anderer Früchte, so in denen der Kirschen, der Pfirsiche u. s. w. Letztere sind jetzt das eigentliche Ausgangsmaterial. In Kleinasien, wo die Pfirsiche in Mengen wachsen müssen, sammelt man nämlich ihre Kerne, zerbricht deren harte Schale und verkauft den Inhalt nach Europa. Da sie gegen 40 % fettes Öl enthalten, preßt man erst dieses aus ihnen aus, das als Mandelöl verkauft wird, zerbricht den Preßkuchen wiederum und läßt ihn, bevor man ihn der Destillation unterwirft, einige Stunden mit warmem Wasser stehen. Bittermandelöl ist nämlich als solches in den genannten Rohmaterialien gar nicht enthalten. Extrahiert man sie z. B. mit Spiritus, um den Einfluß des Wassers auszuschließen, so kommt man zu einem Stoffe, der Amygdalin heißt. Neben dem Amygdalin ist aber in ihnen noch ein zweiter Stoff vorhanden, welcher Emulsin benannt wird. In Gegenwart von warmem Wasser wirkt letzterer als Ferment auf ersteren und zerlegt das Amygdalin unter Wasseraufnahme in Bittermandelöl, Blausäure und Traubenzucker.

$$\underset{\text{Amygdalin}}{C_{20}H_{27}NO_{11}} + \underset{\text{Wasser}}{2\,H_2O} = \underset{\text{Bittermandelöl}}{C_7H_6O} + \underset{\text{Blausäure}}{HCN} + \underset{\text{Zucker.}}{2\,C_6H_{12}O_6}$$

Destilliert man daher den Preßkuchen nach mehrstündigem Stehen mit warmem Wasser, so geht jetzt Bittermandelöl mit dem Dampfstrom über.

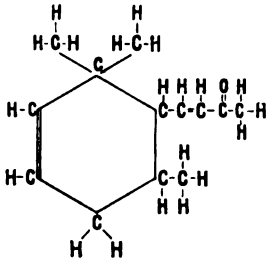
Das Bittermandelöl ist chemisch Benzaldehyd und kann heute aus dem Toluol, einem im Steinkohlenteer reichlich vorhandenen Kohlenwasserstoff, ohne viele Mühe in jeder beliebigen Menge fabrikmäßig hergestellt werden. Weit reichlicher noch als das Toluol kommt im Steinkohlenteer das Benzol vor, und behandelt man dieses mit Salpetersäure, so bekommt man das Nitrobenzol, welches zufällig in seinem Geruche an das Bittermandelöl erinnert und auch sehr billig herstellbar ist. In die Parfümerie hat es ein französischer Fabrikant Collas unter dem Phantasienamen „Essence de Mirban“ eingeführt.

Ist das Bittermandelöl des Handels nur durch seinen Gehalt an Blausäure giftig, so ist sein Nebenbuhler, das Nitrobenzol, ein Gift an sich, und zwar so abscheulicher Art, daß es zu Vergiftungen allerlangsamster Art Veranlassung geben kann, die, wie Experimente an Tieren ergeben haben, die phantasiereichen Erzählungen, die sich an die geheimnisvolle „aqua Toffana“ des Mittelalters knüpfen, wahr zu machen geeignet sind. Sein reichlicher Genuß führt schnellen Tod herbei, wie bei Selbstmördern, die es in Seifensiedereien, in denen es zum Parfümieren billiger Seifen dient, zu dem Zwecke benutzten, öfters beobachtet worden ist.

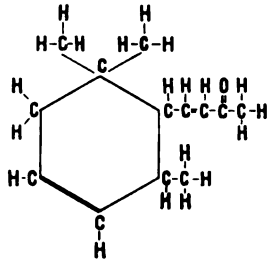
Das Irisöl wird aus der Veilchenwurzel durch Dampfdestillation, bei der man die Temperatur möglichst niedrig zu halten sucht, hergestellt. Aus 1000 kg Wurzeln erhält man nur $^1/_2$—$^3/_4$ kg an Öl, welches bei gewöhnlicher Temperatur salbenähnlich erstarrt. Sein Geruch ist ganz besonders lieblich, und so findet es trotz seines hohen Preises viel Verwendung in der Parfümerie.

Arbeiten, die mit einem bewundernswerten Aufwand an Geistesschärfe und sonstigen Mühen aller Art durchgeführt worden sind, haben zur Herstellung eines im Geruch völlig gleichwertigen synthetischen Irisöls geführt. Der riechende Bestandteil des Irisöls, das Iron, hat die Formel $C_{13}H_{20}O$, die gleiche Zusammensetzung zeigt das künstliche Iron, welches den Namen Jonon erhalten hat.

Die aufgelöste Formel, die Strukturformel, aus der man also ersehen kann (s. S. 316), wie die einzelnen Atome miteinander verbunden sind, haben Tiemann u. Krüger völlig erkannt und gezeigt, daß der künstlich von ihnen dargestellte Körper fast identisch mit dem Naturprodukt ist, jedenfalls ihm in der Anordnung der Atome so sehr ähnelt, daß die so gut wie völlige Übereinstimmung des Geruches nichts Wunderbares hat. Diese ist denn auch so groß, daß nur die allergeübtesten Nasen, wenn sie beide nebeneinander riechen, eine Differenz zu bemerken vermögen, während ungeübte Sterbliche dieses Unterscheidungsvermögen überhaupt nicht besitzen.



584. Anordnung der Atome im natürlichen Veilchenaroma (Iron).



585. Anordnung der Atome im künstlichen Veilchenaroma (Ionon). (Synthese von Tiemann und Krüger.)

Das Patchouliöl, welches in einer Ausbeute von etwa 2 % aus den Blättern der Patchoulipflanze, die in Indien, China und dem weiteren südlichen Asien vorkommt, gewonnen wird, wurde ehemals als solches importiert, indem die Eingeborenen es an Ort und Stelle herstellten, es war damals unter dem Namen Penangöl im Handel. Heutzutage gelangen die Blätter nach Europa und hier zur Destillation. Es ist ein dickes, ziemlich unangenehm riechendes Öl, welches nur in starker Verdünnung oder im Gemisch mit anderen Ölen, unter welchen Verhältnissen sein Geruch angenehm erscheint, Verwendung finden kann.

Das Rosenöl, zu welchem wir jetzt übergehen, zeigt als solches einen weit weniger angenehmen Geruch, als wenn es in sehr starker Verdünnung zur Geltung kommt. Den angenehmen Geruch der Rose festzuhalten und für Parfümeriezwecke zu verwerten, ist uralter Gebrauch, so beschreibt Dioscurides, der im 1. Jahrhundert nach Christus lebte, ausführlich, wie man Öle, indem man zu wiederholten Malen frische Rosen in sie hineinlege, wohlriechend machen könne. Auch Rosenwasser ist lange bekannt, und die Perser müssen es besonders bevorzugt haben, hatte doch die persische Provinz Farsistan von 810 ab auf eine Reihe von Jahren jährlich 30 000 Flaschen von ihm nach Bagdad als Tribut zu entrichten. Auch in Europa war es schon im Mittelalter ein bedeutender Handelsartikel.

Die Entdeckung des Rosenöls wird dem Geronimo Rossi aus Ravenna zugeschrieben, der im Jahre 1574 zuerst bemerkt haben soll, daß sich eine Art von Öl aus dem Rosenwasser abscheide. Seine Entdeckung in Indien soll erst im Jahre 1612 unter folgenden romantischen Umständen erfolgt sein. Bei einem großen Feste, das der Großmogul Djihanguyr gab, ließ er auch einen künstlichen Bach aus Rosenwasser herrichten. Das auf diesem Bache schwimmende Öl soll seine Gattin Nour-Djihan Beygum mit eigener Hand gesammelt haben, und von da ab soll seines Wohlgeruchs halber seine Herstellung in Aufnahme gekommen sein.

In bedeutenden Mengen wurde das Rosenöl um 1650 in Persien dargestellt, doch scheint diese Industrie dann dort zu Grunde gegangen zu sein, während sie nach dieser Zeit in Kaschmir und Indien in Blüte kam. Wann die Gewinnung des Rosenöls im Balkan begonnen hat, ist nicht bekannt, jedenfalls hat sie dort in der Gegend von Kasanlik eine solche Ausdehnung gewonnen, daß von hier aus bis vor wenigen Jahren der Bedarf der ganzen Welt so ziemlich allein gedeckt wurde. Die Produktion betrug um das Jahr 1840 etwa 300 kg jährlich und ist jetzt auf 2000—2400 kg jährlich gestiegen. Die Art seiner Gewinnung ist dort folgende. Die Rosen werden möglichst frisch aus kupfernen, innen verzinnten großen Retorten unter Wasserzugabe destilliert. Sobald die Hälfte des Wassers übergegangen ist, ist alles Rosenöl aus ihnen gewonnen. Dieses Rosenwasser, welches das Rosenöl gelöst enthält, wird nun seinerseits wieder destilliert, aber nur bis $^1/_6$ von ihm übergegangen ist. Aus diesem wenigen Wasser scheidet sich bei mehrtägigem

Stehen das Öl ab, das sorgfältig gesammelt und in verzinnten Flaschen in den Handel gebracht wird. 1000 kg Rosen liefern dort zwischen 160 und 400 g Öl.

Da begann im Jahre 1884 eine der größten Fabriken auf dem Gebiete der ätherischen Öle, nämlich die von Schimmel & Co., deren einen patentierten Apparat wir oben beschrieben haben, in ihrem Wohnsitze Leipzig mit der Erzeugung von Rosenöl aus deutschen Rosen. Zum Vorversuche dienten etwa 45 ha Rosenkulturen, die gleich im ersten Jahre 23 000 kg Rosen und aus diesen 4,5 kg Rosenöl lieferten, 1 ha also etwa $^1/_{10}$ kg, und der Wert des Rosenöles ist so groß, daß seit diesem ersten Versuche die Erzeugung des deutschen Rosenöles seitens dieser Fabrik beibehalten und sehr erweitert worden ist.

1 ha liefert an Roggen bei uns durchschnittlich 1600 kg, an Kartoffeln sogar 16 000 kg. Also die Erzeugung von $^1/_{10}$ kg Rosenöl ist mindestens ebenso lohnend als die dieser großen Mengen von Nahrungsmitteln, so merkwürdige Werte schafft die Industrie.

Das deutsche Rosenöl, welches nach den allervollkommensten Methoden vermittelst Wasserdampfdestillation dargestellt wird, zeigt etwa die Konsistenz von Butter und hat schwach grünliche Farbe. Der Schmelzpunkt des im Jahre 1890 gewonnenen lag bei 27°. Sein Geruch war stark, aber milde und viel feiner als der des türkischen Rosenöls. 1 kg von ihm kostet jetzt etwa 700 Mark.

Jetzt wollen wir als letztes noch das Ilang-Ilang-Öl besprechen. Sein Geruch ist ein so lieblicher, daß er wohl von keinem anderen ätherischen Öle übertroffen wird. Es wird aus den Blüten von Cananga odorata, einem Baum, der bis 20 m hoch wird und in ganz Südasien wächst, gewonnen. Der Baum führt auch den ihm von Blanco beigelegten Namen Unona odoratissima, indem diesen der außerordentliche Wohlgeruch der Blüten zu diesem Superlativ veranlaßte. Zuerst scheint das Öl 1864 nach Europa gekommen zu sein. Die deutschen in Manila auf den Philippinen ansässigen Apotheker Reymann und Rönsch stellten es indes erst 1878 in größeren Mengen in Paris aus, und seitdem hat es sich endgültig in der Parfümerie eingebürgert. 10 kg Blüten geben etwa 50 g Öl.

Die Likörfabrikation.

Wir können hier die Likörfabrikation sehr kurz besprechen, weil sie in Bd. IV bei der Darstellung der Spirituosen bereits ausführlich behandelt worden ist.

Mit Hilfe der ätherischen Öle ist die Likörfabrikation heutzutage nämlich eine sehr bequeme geworden. Ehe diese käuflich zu haben waren, mußten Pflanzensamen wie Kümmel oder Anis oder Wacholderbeeren mit dem Spiritus destilliert oder längere Zeit mit diesem stehen gelassen werden, damit er ihr Aroma annahm. Diese ziemlich arbeitsreiche Methode ist nun mit Hilfe der ätherischen Öle durch die Fabrikation auf kaltem Wege verdrängt worden. Man hat es jetzt nur nötig, dem mit Zucker gesüßten auf die richtige Verdünnung gebrachten Spiritus etwas von dem betreffenden ätherischen Öle zuzusetzen, und der Likör ist fertig.

Die Parfümerie.

Wenn wir uns jetzt zur Parfümerie wenden, so benutzt diese außer den ätherischen noch einige weitere Stoffe, die ihr das Pflanzenreich bietet, und auch einige aus dem Tierreich für ihre Zwecke, die wir hier ebenfalls kennen lernen müssen.

Die weiteren Stoffe aus dem Pflanzenreich sind einige Harze und Balsame, also nach dem Ausfließen aus den Bäumen durch den Sauerstoff der Luft veränderte ätherische Öle.

Da ist wohl vor allem das Benzoëharz zu nennen. Es fließt teils freiwillig, teils durch Einschnitte in die Rinde eines Baumes (Benzoïn officinale Hayne) aus; dieser Baum ist in Siam, Kotschinchina, Kambodscha und einigen Sundainseln heimisch. Es schmeckt süßlich scharf und balsamisch und verbreitet namentlich beim Erwärmen einen angenehmen Geruch. Daher findet es bei der Herstellung von Räuchermitteln Verwendung. Eine nicht unwichtige Rolle spielt es auch in der Parfümerie infolge seiner Eigenschaft,

ganz allgemein das Ranzigwerden der Fette zu verhindern, wenn es diesen auch nur in geringer Menge zugesetzt wird. Diese benutzt es also als wohlriechendes bezw. Wohlgerüche nicht störendes Antiseptikum. Sein Preis hängt sehr von der Qualität ab und betrug Anfang 1897 150—400 M. per 100 kg.

Der Storax, zu dem wir jetzt übergehen, wird so gewonnen, daß man die Rinde von Liquidambar orientalis mit Wasser auskocht, worauf er sich als flüssige Masse abscheidet. Der Baum kommt namentlich im südlichen Kleinasien vor. Es ist auch fester Storax im Handel, welcher durch Vermischen des flüssigen mit der feingemahlenen Rinde des Baumes hergestellt wird. Amerika hat ebenfalls ehemals Storax geliefert, denn ein Baum, welcher dem kleinasiatischen sehr nahe steht, nämlich Liquidambar styraciflua, der von Guatemala bis nach Illinois in Nordamerika vorkommt, kann ihn ebenfalls geben. Der Spanier Monardes berichtet auch nicht lange nach der Entdeckung Amerikas, daß von dort her viel Storax nach Spanien käme, aber 1694 teilt bereits der Franzose Pomet mit, daß der Balsam Neuspaniens (Mexikos) selten geworden sei. Heutzutage scheint amerikanischer Storax aus unbekannten Gründen überhaupt nicht nach Europa zu kommen. Auch er findet seine Hauptverwendung zu Räucherkerzen.

Das Myrrhenharz oder die Myrrhe ist der eingetrocknete Milchsaft von Balsamodendron Myrrha Nees, einem in Arabien, Abessinien und Indien heimischen Baume. Es bildet gelbliche bis rötliche Stücke von balsamischem Geruch und gewürzhaft bitterem Geschmack. Doch liefert heute Ostindien weit mehr von ihm, als die beiden erstgenannten Länder, die schon zu Moses Zeiten die damalige Kulturwelt mit ihm versorgten. Die Myrrhe wird ziemlich viel in der Medizin verwendet und dient in der Parfümerie zu Räucherkerzen.

Zum Schlusse wollen wir den Weihrauch besprechen. Dieser ist der eingetrocknete Milchsaft verschiedener Boswelliaarten, welche in Afrika und Asien vorkommen. Das meiste von ihm stammt von der namentlich in Abessinien wachsenden Boswellia papyrifera Höchst. Er ist ein blaßgelbes sprödes Harz mit mehligem Überzuge, von schwach balsamischem Geruch und bitterscharfem Geschmack. Auch er findet nur als Zusatz zu Räuchermitteln Verwendung.

Von tierischen Stoffen haben wir hier den Moschus und das Ambra zu erwähnen.

Der Moschus findet sich in einem Organ des männlichen Moschustieres, welches eine Art Beutel an seiner Bauchseite bildet. Das Tier lebt im Hochgebirge Innerasiens, ist verhältnismäßig selten, und daher ist Moschus recht teuer. Er spielt eine sehr große Rolle in der Parfümerie. Wenn er auch für sich kaum verwendet wird, so wird er doch unzähligen Präparaten in geringer Menge zugesetzt, weil er deren Geruch außerordentlich hebt. Das Kilogramm von allerbestem Moschus kostete Anfang des Jahres 1897 2400 bis 2800 M.

Wenn wir nun schließlich die Ambra besprechen, so kommen wir zu einem der rätselhaftesten Stoffe, die es heutzutage gibt. Man findet die Ambra teils auf dem Meere schwimmend, teils an den Küsten von Madagaskar, Surinam und Java. Man hält sie jetzt für eine Konkretion der Pottwale, für eine Art von Gallen- oder Darmstein, denn man findet Ambra auch im Darm kranker oder toter Pottwale. Während kleinere Stücke diese Deutung ihres Ursprungs wohl zulassen, erscheint dem Verfasser das Vorkommen von Stücken bis zum Gewicht von fast 100 kg damit wenig vereinbar. So wurde 1693 ein Stück Ambra im Gewichte von 92,5 kg gefunden und in Amsterdam für 24 000 fl. (beim damaligen Werte des Geldes) verkauft. Hiernach kann man ermessen, wie hoch die Ambra im Werte steht. Ein im November 1895 in London eingetroffenes Stück im Gewichte von 8,8 kg wird auf 27 000 M. bewertet. Sie dient nach Art des Moschus dazu, den Gerüchen mehr Körper zu erteilen, sie beständig zu machen.

Die Herstellung der öfters genannten Räucherkerzen erfolgt so, daß man feingepulverte Harze und irgend ein Holzpulver mit Gummilösung zusammenreibt und das Gemisch durch ätherische Öle parfümiert. Zum leichteren Verglimmen des Ganzen setzt man noch etwas Salpeter zu, dessen Sauerstoffreichtum dieses in gleichmäßiger Weise gewährleistet. Die fertige Masse wird in kleine Weißblechformen gepreßt, deren Gestalt sie nachher zeigt.

Wir lassen hier zwei Angaben über die Gemische, aus denen solche Räucherkerzen bestehen, folgen, und entnehmen sie wie die folgenden Rezepte dem ausgezeichneten Handbuch von Deite über die Parfümerie- und Toilettenseifenfabrikation.

Rosen-Räucherkerzen.

1 kg Sandelholzpulver,
1/3 „ Sandarakharzpulver,
1/2 „ Benzoëharzpulver,
3 g Karmin in Rosenwasser gelöst,
100 „ Salpeter,
10 „ Bergamottöl,
5 „ Nelkenöl,
5 „ Rosenöl,
5 „ Rosengeraniumöl,
mit so viel mit Rosenwasser hergestellter Gummilösung, wie nötig ist.

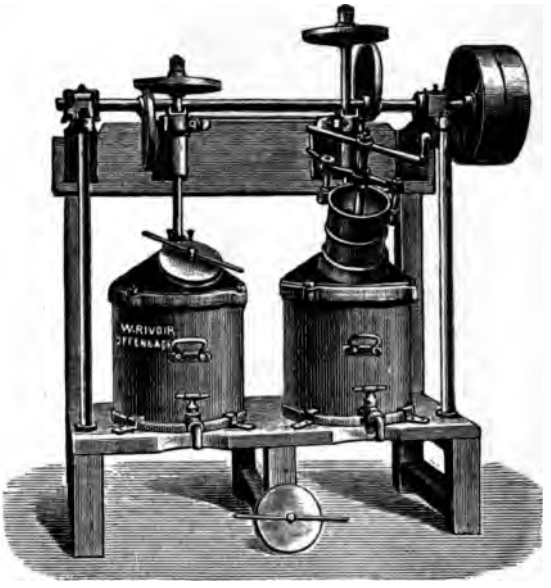
Millefleurs-Räucherkerzen.

1 kg Lindenholzpulver,
1/2 „ Sandelholzpulver,
1/2 „ Benzoëpulver,
1/2 „ Veilchenwurzelpulver,
1/4 „ Weihrauchpulver,
120 g Salpeter in Wasser gelöst,
25 „ Bergamottöl,
25 „ Rosengeraniumöl,
10 „ Zimtöl,
10 „ Petitgrainöl,
10 „ Wacholderbeeröl,
50 „ Perubalsam,
10 „ Zibethtinktur,
100 „ Moschuswurzeltinktur,
mit so viel Gummi, wie nötig ist.

Wir kommen nunmehr zu den alkoholischen Extrakten, deren Herstellung auf drei Arten erfolgt.

Die bequemste Art ist die, daß man Spiritus mit dem betreffenden ätherischen Öl versetzt. So erhält man Bergamotttinktur durch Lösen von 100 g des Öles in 4 l Spiritus, während Rosenöltinktur eine Lösung von 50 g Rosenöl in 6,5 l Spiritus ist.

Sollen zur Herstellung der Tinkturen Harze oder Balsame, Blätter oder Wurzeln dienen, so übergießt man diese möglichst in gepulvertem Zustande mit Spiritus und schüttelt häufig um, bis schließlich der Wohlgeruch nicht mehr zuzunehmen scheint, worauf durch Papier filtriert wird.



586. Mischmaschine für Extraits d'odeurs.

Die dritte Art ihrer Gewinnung ist die bei weitem komplizierteste, ihre Erfolge übertreffen die vorhergehenden aber auch im Verhältnis zur aufgewandten Mühe. Bei diesem Verfahren, welches namentlich in Südfrankreich ausgebildet ist, werden die frischen Blumen, deren Ölgehalt sehr gering ist oder durch Destillation an Feinheit leiden würde, direkt in warmes Schweinefett oder Rinderfett, auch wohl Olivenöl gebracht, und so wird ihr Wohlgeruch auf diese übertragen. Die so erzielten Pomaden kommen als solche zum Verkauf und dienen ihrerseits den Parfümeuren zur Herstellung der Extraits d'odeurs. Um aus ihnen die an Wohlgeruch die vorhergehenden Tinkturen also weit übertreffenden Extrakte herzustellen, werden sie mit Alkohol übergossen und mit diesem in eigens hierzu konstruierten Mischmaschinen durchgearbeitet. Man läßt den Apparat bis sechzig Stunden laufen, wobei seine schräggestellten Schläger für vorzügliches Mischen sorgen. Hernach filtriert man erst den Alkohol durch Leinwand und nach längerem Stehen nochmals durch Filtrierpapier. Diese Extraktion der Pomaden mit Alkohol wird meist dreimal wiederholt. Mit Hilfe solcher Auszüge und Tinkturen werden z. B. folgende sehr bekannten Parfüms hergestellt.

Extrait Eßbouquet.

200	g	erster	Auszug	aus	Pomm.	Acacia,
200	„	„	„	„	„	Cassie,
750	„	„	„	„	„	Jasmin,
150	„	„	„	„	„	Rose,
500	„	„	„	„	„	Orange,
80	„	Bergamottöl,				
10	„	Zimtöl,				
10	„	Nelkenöl,				
20	„	Rosengeraniumöl,				
5	„	Sandelholzöl,				
8	„	Linaloeöl,				
150	„	Rosenöltinktur,				
100	„	Iristinktur,				
20	„	Ambratinktur,				
20	„	Zibethtinktur,				
30	„	Moschustinktur,				
75	„	Moschuswurzeltinktur,				
30	„	Benzoëtinktur.				

Extrait Millefleurs.

250	g	erster	Auszug	aus	Pomm.	Jasmin,
100	„	„	„	„	„	Jonquille,
75	„	„	„	„	„	Rose,
100	„	„	„	„	„	Acacia,
150	„	„	„	„	„	Orange,
150	„	„	„	„	„	Tubereuse,
100	„	„	„	„	„	Cassie,
20	„	Bergamottöl,				
15	„	Rosengeraniumöl,				
15	„	Portugalöl,				
5	„	Angelicaöl,				
5	„	Sandelholzöl,				
150	„	Rosentinktur,				
250	„	Iristinktur,				
15	„	Vanilletinktur,				
35	„	Moschuswurzeltinktur,				
10	„	Tolubalsamtinktur,				
5	„	Storaxtinktur,				
5	„	Patchoulitinktur,				
30	„	Moschustinktur,				
25	„	Zibethtinktur.				

537. Seifentrockenschrank.

Die Darstellung der eigentlichen Pomaden erfolgt entweder nach der als für Südfrankreich typisch beschriebenen Methode oder durch Parfümieren von Fetten mit ätherischen Ölen. So erhält man die echte Rosenpomade, indem man z. B. in 3 kg bestes Schweineschmalz und 1 kg reinen Rindertalg, die bei einer Temperatur von 45—50° geschmolzen erhalten werden, in einem Beutel befindliche 4 kg Rosenblätter hineinhängt, und zehn- bis zwölfmal mit weiteren Rosenblättern in der gleichen Art verfährt.

Zur Herstellung von Pomaden auf dem Wege des Parfümierens mit ätherischen Ölen, die man nur mit dem geschmolzenen Fett gut durchzurühren braucht, nimmt man Fettgemische der verschiedensten Art.

So werden Pomaden dargestellt aus:

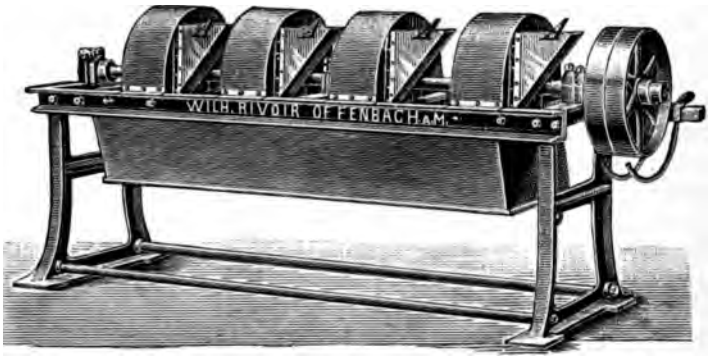
3	kg	Schweinefett,	4	kg	Schweinefett,	2½	kg	weißem Vaselin,
1½	„	Rindertalg,	½	„	Kakaobutter,	½	„	Paraffin,
50	g	Bergamottöl,	½	„	Wachs,	45	g	Bergamottöl,
25	„	Cassiaöl,	100	g	Bergamottöl,	30	„	Rosengeraniumöl,
20	„	Lavendelöl,	25	„	Zitronenöl,	15	„	Lavendelöl,
15	„	Nelkenöl,	25	„	Lavendelöl,	wird mit Alcannin rot gefärbt.		
10	„	Thymianöl,	12	„	Neroliöl,			
wird mit Orlean gelb gefärbt.			wird mit Alcannin rot gefärbt.					

Wir gehen nunmehr zu den Toilettenseifen über.

Die Parfümierung der billigen Toilettenseifen erfolgt so, daß man die bereits fertig gestellten Seifen, sei es im warmen oder in kaltem Zustande mit ätherischen Ölen versetzt. Doch gelingt es auf diesem einfachen Wege nicht, gute Toilettenseifen herzustellen, deren Fabrikation erfordert vielmehr eine Reihe von Operationen, die man unter dem Gesamtnamen Pilieren zusammenfaßt.

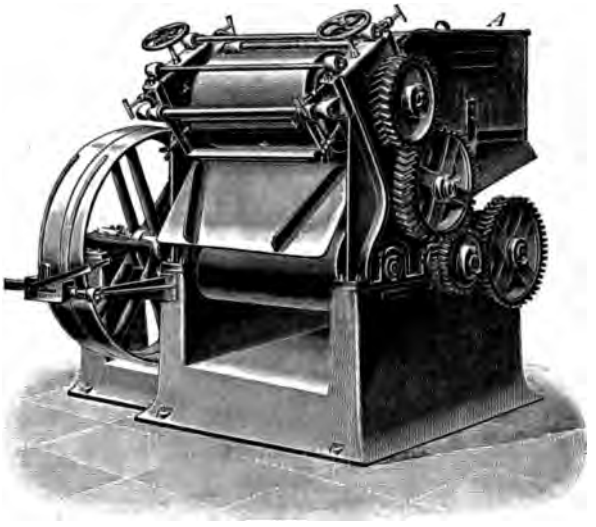
Zum Pilieren sind nur die besthergestellten Seifen verwendbar, uno sie können nur aus möglichst reinen Fetten bereitet werden, die ganz geruchlos und so vorbehandelt sind, daß

sie nachher nicht zum Ranzigwerden neigen, weil durch Ranzigwerden jedes feinere Parfüm zerstört wird. Das beste rohe Rinderfett wird daher zu ihrer Herstellung möglichst durch Abwaschen gereinigt und sodann mit Dampf ausgeschmolzen und durch längeres Stehen in der Wärme nach Kochsalzzusatz geklärt, also ähnlich wie in der Margarinefabrikation behandelt. Nur läßt man jetzt nicht einen Teil auskristallisieren, sondern benutzt das Gesamtfett zum Verseifen. Auch verarbeitet man es nicht allein, sondern im Gemisch mit Ölen oder anderen Fetten. Zum Beispiel nimmt man 500 kg Talg, 500 kg Palmöl und 100 kg Kokosöl, oder 800 kg Talg, 200 kg Olivenöl und 200 kg Kokosöl.



588. Seifenspanhobelmaschine.

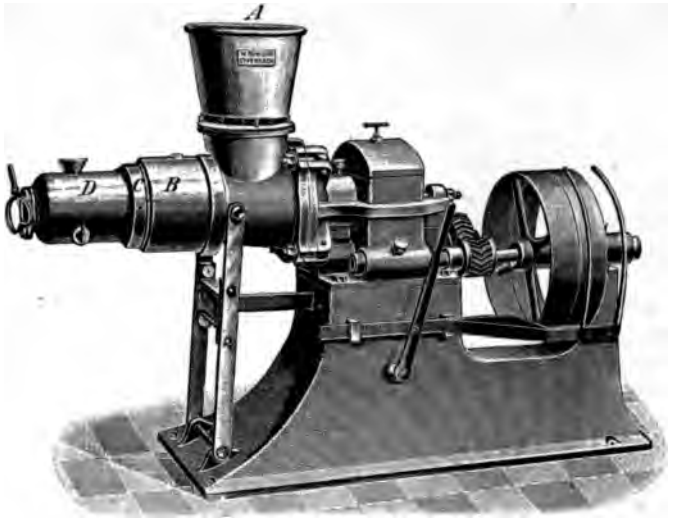
Das Verseifen erfolgt mittels reiner Natronlauge mit der Vorsicht, daß sicher alles Fett verseift wird, worauf auf das sorgfältigste ausgesalzen wird, indem überschüssige Natronlauge, die in der Seife bleibt, die Wohlgerüche hernach ebenfalls verderben würde. Das so erhaltene Produkt wird nach dem Erkalten in Stücke geschnitten und ausgetrocknet. Wir geben einen geeigneten Dampftrockenschrank in unserer Abb. 537 wieder. Das Austrocknen muß so weit erfolgen, daß die Seife genügend fest wird, um sich zu Spänen hobeln zu lassen. Hierzu brauchbare Hobelmaschinen werden heute schon von ganz bedeutender Größe gebraucht; so arbeitet die in Abb. 538 dargestellte mit 24 Messern, indem die durch die vier Öffnungen A eingebrachten Stücke von je sechs schräg stehenden rotierenden Messern zerhobelt werden.



589. Seifenwalzmaschine (Broyeuse).

Falls diese Seifenspäne sich jetzt noch für die weitere Fabrikation zu feucht erweisen, werden sie nochmals getrocknet; ist das aber nicht nötig, so setzt man ihnen sogleich oder erst auf der Broyeuse das nötige Parfüm, und wenn gefärbte Seifen fabriziert werden sollen, auch den nötigen Farbstoff zu. Um die Masse sodann völlig gleichmäßig zu bekommen, bedient man sich der soeben erwähnten, Broyeusen genannten Maschinen (Abb. 539). Diese sind allmählich zu großer Vollkommenheit gelangt; sie erzielen die erforderliche Gleichmäßigkeit, indem die in ihren Trichter A geworfenen Späne zwischen ihren Walzen sich wieder zusammenpressen. Sie haben die Einrichtung, daß, wenn das Material die Walzen passiert hat, es selbstthätig wieder zur obersten von ihnen zurückkehrt, um neuerdings den gleichen Weg zu passieren. Sie sorgen also ohne weitere Handarbeit für die völlige Homogenität des Produkts, die nach vier- bis sechsmaligem Durchgang durch alle Walzen erreicht zu sein pflegt.

Auch zur Überführung der so erhaltenen Masse in die gewünschte verkäufliche Form dienen Maschinen, die entweder mittels hydraulischen Drucks oder mit einer passend konstruierten Schnecke den für diese Formgebung nötigen starken Druck erzeugen. Wir geben nebenstehend die Abbildung einer Boudineuse, so oder auch Ballmaschinen nennt man Maschinen für diesen Zweck, die ein kontinuierliches Arbeiten im Gegensatz zu den hydraulischen, bei denen dieses nicht angängig ist, gestattet. Bei dieser Boudineuse fällt die zu formende Masse durch den Trichter A auf eine Schneckenwelle, die sich verjüngend sie bei ihren Umdrehungen mit in den konischen Teil B hineinnimmt. Die immer stärker zusammengepreßte Masse trifft schließlich bei C auf ein Gitter, zu dessen Passieren ein ganz bedeutender Druck nötig ist. Alsdann gelangt sie in den sich immer mehr verjüngenden Teil D, an den beliebige Mundstücke angesetzt werden können, so daß die Seife die Maschine in Form eines runden oder sonstwie begrenzten Bandes verläßt, indem der hinter dem Gitter weiter zunehmende Druck sie wiederum zu einem Ganzen vereinigt. Das Band wird nach seinem Austritt aus der Maschine in Stücke von passender Länge zerschnitten. Der Teil D ist hohl, und das zwischen seinen Wandungen befindliche Wasser wird durch eine auf der Figur nicht angegebene Gasflamme erwärmt, wodurch die Seife so weit angewärmt wird, daß sie nach dem Verlassen der Maschine ein schönes gleichmäßiges Aussehen zeigt. Die von der Boudineuse gelieferten Stücke werden zum Schluß mittels einer Presse, wie wir eine solche schon S. 550 bei der gewöhnlichen Seifenfabrikation kennen lernten, mit Aufschriften versehen.



540. Seifenballmaschine (Boudineuse).

Die Steinkohlen und ihre Verwendung in der chemischen Industrie.

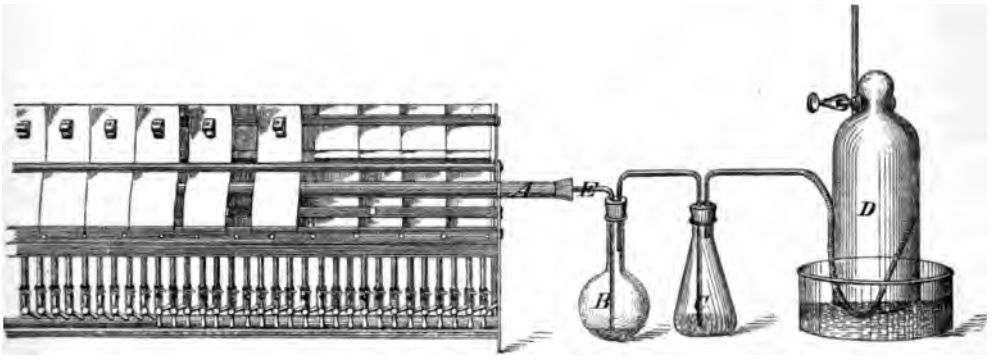
Die Steinkohlen finden in der chemischen wie in allen anderen Industrien ausgedehnte Verwendung als Heizmaterial, worauf wir hier nicht weiter eingehen wollen.

Die chemische Industrie beschäftigt sich aber auch mit ihrer trockenen Destillation, welche das Leuchtgas liefert. Der Erfinder des Wortes „Gas“ ist übrigens van Helmont (s. S. 300). Es heißt bei ihm (lateinisch): „Diese bisher unbekannte Luftart nenne ich mit einem neuen Namen Gas.“ Außer dem Leuchtgas entstehen hierbei als Abfall noch andere Produkte, nämlich Teer und Ammoniakwasser. Die industrielle Verwertung des letzteren haben wir bereits S. 531 ausführlich kennen gelernt. Die Verwertung des Teers soll sich an die Leuchtgasdarstellung anreihen. Zu deren leichterem Verständnis wollen wir erst einen Apparat abbilden, wie er etwa zu seiner Darstellung in Vorlesungen über Chemie Verwendung findet, der uns die sich hierbei abspielenden Vorgänge in klarer Weise veranschaulicht.

Das eiserne Rohr A ist mit Steinkohlen gefüllt und liegt in dem langgestreckten Ofen. Zünden wir diesen an, so werden die Steinkohlen in dem Rohre stark erhitzt werden. Solches Erhitzen trockener Substanzen in einem geschlossenen Raume, der also hier die Form eines Rohres, aber ebensogut z. B. die einer Retorte haben könnte, bezeichnet man als trockene Destillation.

Durch die Hitze wird das, was sich aus den Steinkohlen bei dieser hohen Temperatur verflüchtigen kann, aus ihnen ausgetrieben werden. Da das Rohr an seinem auf der Zeichnung nicht sichtbaren Ende vernietet ist, muß alles Flüchtige durch das mit einem Stopfen an das Eisenrohr angesetzte Glasrohr E nach der Flasche B strömen. In dieser werden sich die heißen Gase und Dämpfe stark abkühlen. Kurzum das nicht sehr Flüchtige wird sich hier als Teer wieder verdichten, und indem die Flasche etwas Wasser enthält, wird sich in diesem das Ammoniakgas, von dem sich eine geringe Menge bildet, lösen. Kurzum das nach C weiterströmende Gas wird so ziemlich von Teer und Ammoniak befreit sein. In C trifft es auf eine pulverige Substanz, welche aus Eisenoxydhydrat besteht. Dieses wirkt auf seinen Schwefelgehalt so ein, daß sich Schwefeleisen bildet, worauf es schwefelfrei weiterströmt und schließlich gereinigt in die Glocke gelangt, in welcher es sich sammelt. Diese Glocke D, welche durch eine geeignete Führung gehalten wird, entspricht dem Sammelbassin für das Gas, also dem Gasbehälter der Gasanstalten, von dem aus das fertige Gas durch die Stadt verteilt wird. Der Rückstand im eisernen Rohre führt den Namen Koks.

Nachdem in den Laboratorien viel mit Leuchtgas gearbeitet war, wurden im Jahre 1798 in der Maschinenfabrik von Bolton & Watt, letzterer ist der Erfinder der Dampfmaschine, größere Versuche über die Beleuchtung des Etablissements auf diesem



541. Leuchtgasdarstellung für Vorlesungszwecke. (Nach Lassar-Cohn, „Die Chemie im täglichen Leben".)

Wege angestellt, aber erst 1803 kam man so weit, die Fabrik ausschließlich mit Gas aus Steinkohlen zu beleuchten. Nachdem dann die erste Aktiengesellschaft, welche sich im Jahre 1809 zur Beleuchtung Londons mit Leuchtgas gebildet hatte, in der traurigsten Weise zu Grunde gegangen war, kam vom 1. April 1814 ab die Beleuchtungsart in dieser Stadt zu größerer Ausdehnung, indem von dem Tage an das Kirchspiel St. Margarethen mit ihm beleuchtet wurde, und die Verwendung des Leuchtgases hat dort wie fast überall bis heute fast ununterbrochen zugenommen. Auf dem europäischen Festlande begann die Gasbeleuchtung 1826, in welchem Jahre Berlin und Hannover mit ihr versehen wurden.

Wir kommen nunmehr zu seiner Darstellung im großen, lassen aber auf der sie wiedergebenden Abb. 542 die maschinellen Teile fort, um sie nicht zu kompliziert werden zu lassen.

Zum Erhitzen der Steinkohlen bediente man sich ursprünglich gußeiserner Rohre, die man zu fünf bis sieben, auch wohl bis zu dreizehn in einem Ofen auf direktem Feuer, wie es unsere Abbildung zeigt, erhitzte. Jetzt stellt man die Retorten A A aus feuerfestem Thon, sogenannter Schamotte, her, weil diese die höheren Temperaturen, die man heutzutage anwendet, weit besser als Gußeisen vertragen. Auch bedient man sich an Stelle der direkten Feuerungen der sogenannten Generatorgasfeuerung, über die das Nähere sich in Bd. II, S. 689 findet. Es gab einst Gasanstalten, die ihre gesamte Kokserzeugung, das sind etwa 70 kg auf 100 kg Steinkohle, unter ihren Retorten zu deren Heizung verbrauchten, während man heute mit etwa 12 kg auskommt.

Die Retorten haben meist eine flach-ovale Gestalt und sind bis 3 m lang, etwa $^1/_2$ m breit und ungefähr 35 cm hoch. Sie sind aus einem Stück hergestellt und hinten geschlossen. Vorn wird an sie mittels Eisenkitt ein gußeiserner Ring befestigt. Dieser hat oben eine Öffnung, in welche das Rohr B zum Fortleiten des entwickelten Gases eingekittet wird, während vorn sich ein Deckel befindet, der nach dem Eintragen der Steinkohlen sogleich geschlossen wird. Ehemals mußte hier die nötige Dichtung durch Verschmieren mit Lehm erzielt werden, heute schleift man dagegen Deckel und Ring so genau gegeneinander ab, daß ein einfaches Andrücken mittels eines Hebels zur Herstellung eines gasdichten Verschlusses genügt.

In jede Retorte kommen 100—150 kg Kohlen, die auf einer Schaufel, welche die Länge der Retorte hat, sich befinden, so daß die in die Retorte geschobene Schaufel nur gewendet zu werden braucht, um die Füllung zu bewirken, und sofort wieder der Schluß der Retorte erfolgen kann. Die sich entwickelnden Dämpfe und Gase entweichen also durch das Rohr B, welches etwa 15 cm weit ist, nach C. In C taucht das Rohr B in Wasser ein.

Dies Eintauchen in Wasser, dieser Wasserverschluß ist nötig, damit beim Öffnen der Retorte zwecks Neuchargierung nicht durch das Rohr B Luft in das System eintreten oder Gas aus ihm zurückströmen kann. In dieser sogenannten Hydraulik setzen sich schon viel Teer und Ammoniakwasser ab, sie hat deshalb einen seitlichen Überlauf, durch den diese abfließen können, ohne daß das Niveau des Wasserverschlusses sich ändert.

Von der Hydraulik aus gelangt das Gas in die Kondensation D. Diese besteht aus einem gußeisernen Kasten, aus dem Rohrleitungen aufsteigen, die mit Hilfe von Scheidewänden, die in das Wasser des Kastens tauchen, so voneinander getrennt sind, daß das Gas die eine nach der anderen passieren muß, wie es die Richtung der Pfeile andeutet. Die Abkühlung, welche es hier erfährt, führt zur Abscheidung des meisten Wasserdampfes, den es mitbrachte, sowie fast des gesamten noch in ihm vorhandenen Teers. Auch hier sorgt ein Überlauf E für ein stets gleich bleibendes Niveau der Flüssigkeit. Durch ihn gelangt das Ablaufende in die Zisterne F. Von hier aus wird es in große Bottiche gepumpt, in denen sich das Ammoniakwasser vom Teer bei längerem Stehen ziemlich vollständig scheidet.

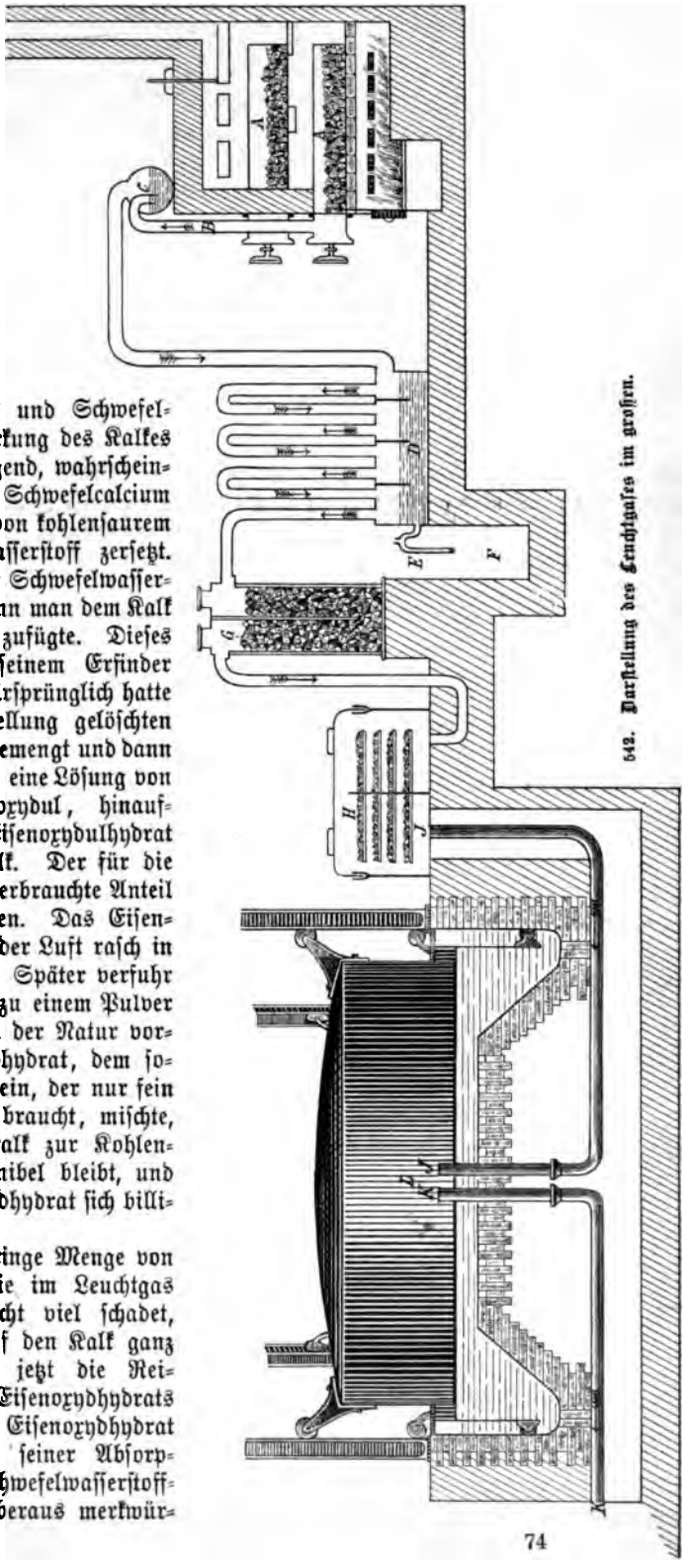
Viele Fabriken wenden statt der Luft eine Wasserkühlung an, indem sie die Kühlröhren durch eine Reihe von Cylindern gehen lassen, welche im entgegengesetzten Sinne des Gasstromes von Wasser durchströmt werden. Erfordern je 1000 cbm Produktion in 24 Stunden etwa 20 qm Fläche für Luftkühlung, so kommt man bei Wasserkühlung ungefähr mit der Hälfte aus.

Das gekühlte Gas gelangt jetzt in einen, auf der Abbildung nicht angegebenen Apparat, der eine Reihe von durchlöcherten Platten enthält. Das beim Passieren dieser eintretende fortwährende Stoßen an Wänden entzieht dem Gas die auch jetzt noch in ihm schwebenden Teer- und Wassertröpfchen. Die Einrichtung erinnert uns an die Rohrmannschen Plattentürme (S. 377).

Nunmehr gelangt das Gas in die Skrubber G. Es sind das schmale hohe Kasten, die durch eine Querwand, wie die Abbildung zeigt, in zwei Hälften geteilt sind. Manche Fabrik schaltet mehrere Skrubber hintereinander, wieder andere ziehen statt dessen einen Skrubber bis zu 20 m Höhe vor. In ihnen rieselt ununterbrochen Wasser herunter, welches das noch im Gase vorhandene Ammoniakgas löst. Ihre Füllung besteht, um eine möglichst große nasse Oberfläche zu haben, bald aus Koks, auch wohl aus Reisig. Das Gas, welches in sie mit 200—400 g Ammoniakgas in 100 cbm eintritt, soll nach ihrem Passieren nicht mehr als 10 g höchstens enthalten. Das mit Ammoniak beladene Wasser läuft durch einen Überlauf, der dem Überlauf E entspricht, ab. Die Skrubber hat man durch die verschiedenartigsten maschinellen Einrichtungen zu ersetzen versucht.

Das jetzt von den mechanisch beigemengten Teertröpfchen und dem Ammoniakgas durch Wasser befreite Gas muß nun noch einer Reinigung auf chemischem Wege unterzogen werden, denn aus ihm sind noch Kohlensäure und Schwefelwasserstoffgas zu entfernen. Dieser Schwefelwasserstoff verdankt dem Schwefelgehalt der Kohle seine Ent-

stehung. Ursprünglich ließ man es zu dem Zweck durch Kästen ziehen, von denen wir nur einen H abgebildet sehen, die aber zu mehreren vorhanden sein müssen, um öfter ausgewechselt werden zu können, in denen auf Horden gebrannter und gelöschter Kalk ausgebreitet lag. Es bilden sich kohlensaurer Kalk und Schwefelcalcium, aber die Wirkung des Kalkes allein war nicht genügend, wahrscheinlich, weil Kohlensäure Schwefelcalcium wieder unter Bildung von kohlensaurem Kalk und Schwefelwasserstoff zersetzt. Wohl aber wurde aller Schwefelwasserstoff zurückgehalten, wenn man dem Kalk noch Eisenoxydhydrat zufügte. Dieses Gemisch heißt nach seinem Erfinder Lamingsche Masse. Ursprünglich hatte man zu seiner Herstellung gelöschten Kalk mit Sägespänen gemengt und dann Eisenvitriollösung, also eine Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul, hinaufgegossen. Es bildet Eisenoxydulhydrat und schwefelsaurer Kalk. Der für die Bildung des letzteren verbrauchte Anteil Kalk ging also verloren. Das Eisenoxydulhydrat geht an der Luft rasch in Eisenoxydhydrat über. Später verfuhr man so, daß man den zu einem Pulver gelöschten Kalk mit in der Natur vorkommendem Eisenoxydhydrat, dem sogenannten Raseneisenstein, der nur fein gemahlen zu werden braucht, mischte, wobei einmal aller Kalk zur Kohlensäureabsorption disponibel bleibt, und zweitens das Eisenoxydhydrat sich billiger stellt.



542. Darstellung des Leuchtgases im großen.

Da aber die geringe Menge von kohlensaurem Gas, die im Leuchtgas vorkommt, diesem nicht viel schadet, hat man schließlich auf den Kalk ganz verzichtet und führt jetzt die Reinigung nur mittels Eisenoxydhydrats aus. Das feuchte Eisenoxydhydrat zeigt, abgesehen von seiner Absorptionsfähigkeit für Schwefelwasserstoffgas, noch folgendes überaus merkwür-

dige Verhalten. Das Eisenoxyd absorbiert den Schwefelwasserstoff in der Hauptsache nach der Gleichung:

$$Fe_2O_3 + 3H_2S = Fe_2S_3 + H_2O$$
Eisenoxyd + Schwefelwasserstoff = Schwefeleisen + Wasser.

und geht dabei in Schwefeleisen Fe_2S_3 über. Wird die verbrauchte Masse aus den Kästen entfernt und kommt an die Luft, so wirkt deren Sauerstoff so ein, daß sich aus dem Schwefeleisen wieder Eisenoxyd bildet.

$$Fe_2S_3 + 3O = Fe_2O_3 + 3S$$
Schwefeleisen + Sauerstoff aus der Luft = Eisenoxyd + Schwefel.

Das verbrauchte Eisenoxyd wird also durch Liegen an der Luft immer wieder brauchbar, indem sich gleichzeitig in ihm Schwefel anhäuft. Nach acht- bis neunmaliger Benutzung enthält es bereits über 50 % Schwefel und wird jetzt an Schwefelsäurefabriken verkauft, oder auf Ferrocyankalium, dessen Gewinnungsmöglichkeit auf diesem Wege dem Stickstoffgehalt der Steinkohlen zu danken ist, verarbeitet. Die hierzu dienenden Methoden haben wir S. 346 ausführlich klargelegt.

Der Stickstoffgehalt der Steinkohlen beträgt etwa 1—1½ %, von dem durchschnittlich nur 14 % sich in Ammoniak verwandeln, der Rest fast ganz in den Koks bleibt und so verloren geht, was gewiß sehr zu bedauern ist, da dadurch der Landwirtschaft so viel schwefelsaures Ammoniak (s. S. 531 oben) verloren geht.

Ein wenig vom Stickstoffgehalt der Steinkohlen geht, was ja nicht weiter wunderbar ist, auch in kompliziertere Verbindungen, als es das Ammoniak ist, über, so in Cyan, welches sich in der Gasreinigungsmasse mit dem Eisenoxydhydrat zu einer Art von Berlinerblau vereinigt, dessen fabrikationsmäßige Überführung in Ferrocyankalium oder Ferrocyannatrium also an einigen Orten betrieben wird.

Eine ordentliche Wiederbrauchbarmachung, Regeneration der feuchten Eisenoxyde, ist nur zu erzielen, wenn das in die Kästen H eintretende Gas keinen Teer mehr mitbringt, weil dieser den späteren Einfluß der Luft auf die Masse verhindert, indem er sie mit einer Art von Haut überzieht, die den Zutritt des Sauerstoffs unmöglich macht. Daraus erklärt sich das im Vorangehenden so ausführlich dargelegte Bestreben, diesen aus dem Gase möglichst abzuscheiden.

Statt das gebrauchte Eisenoxyd aus den Behältern zu nehmen, hat man die Masse auch in ihnen direkt, nachdem der betreffende Kasten aus dem Betrieb ausgeschaltet war, durch Durchleiten von Luft zu regenerieren versucht, ja in neuerer Zeit, wo Sauerstoffgas gerade wie Kohlensäure in Bomben käuflich ist, hat man auch in die Kästen zur schleunigen Regeneration Sauerstoffgas geleitet. Ob letzteres Verfahren sich dauernd einbürgern wird, kann nur die Zeit lehren.

Wenn das Eisenoxydhydrat auch den Schwefelwasserstoff völlig aus dem Leuchtgas entfernt, so bleiben doch Spuren anderer schwefelhaltigen Verbindungen, z. B. von Schwefelkohlenstoff (s. S. 386) in ihm, deren Entfernung eine bis heute ungelöste Aufgabe ist. Nun verbrennt doch Schwefel, wie wir wissen, an der Luft zu schwefliger Säure. Jede brennende Gasflamme bringt also in das mit ihr erleuchtete Zimmer durch Verbrennen des Gases, von dem wir einige Analysen folgen lassen,

	Gas aus westfälischer Kohle	Gas aus sächsischer Kohle	Gas aus englischer Kohle	Gas aus schottischer Kohle
Wasserstoffgas	48,9 %	45,3 %	50,59 %	45,08 %
Methan	35,8 „	35,9 „	38,39 „	39,93 „
Kohlenoxyd	7,2 „	9,5 „	3,13 „	4,84 „
Stickstoff	3,7 „	3,1 „	3,48 „	2,95 „
Schwere Kohlenwasserstoffe	3,2 „	4,0 „	4,41 „	6,90 „
Kohlensäure	1,2 „	2,2 „	0,00 „	0,30 „

Kohlensäure aus dem verbrennenden Kohlenstoff, Wasser aus dem verbrennenden Wasserstoff und jene Spur schwefligsaures Gas, welches der geringe und quantitativ nicht genauer festgestellte Gehalt des Gases an Schwefelverbindungen veranlaßt. Es sei hinsichtlich der Analyse bemerkt, daß Methan ein Kohlenwasserstoff ist, der verhältnismäßig so wenig Kohlenstoff enthält, daß er beim Verbrennen nicht leuchtet, während die schweren Kohlen-

wasserstoffe solche sind, die in der Hitze der Flamme einen Teil ihres Kohlenstoffs ausscheiden, der in dieser weißglühend wird und ihr Leuchten verursacht und erst, wenn er an den Rand der Flamme kommt, ebenfalls mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure verbrennt. Der Mensch ist für jene geringe Menge schwefliger Säure, die mit dem verbrennenden Leuchtgas ins Zimmer gelangt, ganz unempfindlich, anders die Zimmerpflanzen, die in Räumen, in welchen Gas gebrannt wird, bald verkümmern. Die schweflige Säure verbrennt bei der hohen Temperatur der Flamme sogar teilweise zu Schwefelsäure, die sich in Tröpfchen an den Cylindern der Gaslampen ansetzt. Da sie eine sehr ätzend, d. h. zerstörend wirkende Substanz ist, zerstört sie auch die auf sie fallenden Staubteile. Dieses ist die Ursache der braunen Flecke, welche längere Zeit nicht gereinigte Cylinder von Gaslampen zeigen.

Das aus den Reinigungskästen H kommende Gas strömt weiter durch Rohr J in den Gasometer L, der durch Wasser abgesperrt ist, und füllt ihn allmählich. Durch Rohr K wird es in das Rohrnetz der Stadt an die Orte seiner Verwendung geleitet, wie es bereits Bd. I, S. 598 beschrieben ist.

In dem System der gesamten Apparate zur Herstellung des Gases, soweit wir es bis jetzt beurteilen können, herrscht ein ziemlicher Druck, indem das Gas mehrmals durch Wasserverschlüsse durchzugehen und schließlich die Glocke des Gasometers, die allerdings durch Gegengewichte sehr leicht gemacht ist, zu heben hat. Dies würde zur Folge haben, daß durch alle undichten Stellen des Systems fortwährend Gas entweichen, oder sehr häufig undichte Stellen entstehen würden und auch an und für sich die Ausbeute an Gas verringern, wofür wir den Grund S. 584 kennen lernen. Zur Vermeidung dieses Übelstandes wird nun ein Exhaustor meist vor oder nach den Skrubbern aufgestellt. Ein Exhaustor ist ein Apparat, welcher das sich in den Retorten bildende Gas in dem Maße, als es sich in ihnen bildet, absaugt, so daß jedes Bestreben dieses Gases, durch undichte Stellen zu entweichen, aufgehoben wird. Solche Exhaustoren sind bald nach Art großer Schieberluftpumpen, bald nach ganz hiervon abweichenden Systemen konstruiert.

Wir wollen gleich an dieser Stelle bemerken, daß so wie die Steinkohlen auch die verschiedenartigsten sonstigen kohlenstoffhaltigen Stoffe zur Erzeugung von Leuchtgas dienen können. An einigen Orten stellt man Gas durch trockene Destillation von Holz her. Wie wir wissen, dient dies Verfahren aber hauptsächlich (s. S. 499) zur Gewinnung von Essigsäure. Soll sich nicht viel von dieser, sondern sollen sich anstatt dessen reichliche mit leuchtender Flamme brennende Gase bilden, so ist die Fabrikation schwieriger, weshalb sie nur in sehr holzreichen Gegenden sich findet. An anderen Orten wieder stellt man das Gas aus Harzen oder Ölen, namentlich für kleinere Betriebe dar. Wenn diese frei von Schwefel sind, und das ist meist der Fall, braucht das aus der Retorte entweichende Gas nur zur Abscheidung teeriger Substanzen gekühlt zu werden, um verwendungsfähig zu sein. Ein ähnliches Gas ist auch das für die Beleuchtung der Eisenbahnwaggons eingeführte Fettgas, zu dessen Herstellung billige Fette in Retorten erhitzt werden. Da es sehr reich an schweren Kohlenwasserstoffen ist, wie folgende Analysen zeigen:

	Gas aus Schieferöl	Gas aus Paraffinöl
Schwere Kohlenwasserstoffe . . .	25,80 %	28,91 %
Methan	64,80 „	54,92 „
Wasserstoff	3,05 „	5,65 „
Kohlenoxyd	6,65 „	8,94 „
Kohlensäure	0,20 „	0,82 „

hat es eine bedeutend höhere Leuchtkraft als das Steinkohlengas, so daß der auf 10 Atmosphären zusammengepreßte Vorrat von ihm, welchen die Eisenbahnwaggons in unter den Waggons angebrachten Cylindern mitführen, für längere Zeit die Beleuchtung bestreiten kann.

Diejenigen Anstalten, welche Leuchtgas aus Steinkohlen herstellen, liefern außer diesem also Teer, Ammoniakwasser, Schwefel (aus den Reinigern), sowie Retortenkohle.

Retortenkohle ist folgendes. Die aus den Steinkohlen in der Retorte sich bildenden Kohlenwasserstoffe gelangen teilweise an ihre obere sehr heiße Wand, dort werden sie

durch die hohe Temperatur verändert, und zwar unter Ausscheidung von Kohlenstoff, welcher sich an der Retortenwand ansetzt. Dies ist der Grund, weshalb das längere Verweilen des Gases in der Retorte seine Qualität verschlechtert. Diese Retortenkohle ist fast chemisch reiner Kohlenstoff, sie ist von außerordentlicher Härte, sehr schwer verbrennlich, und so werden aus ihr die Kohlenspitzen für die elektrischen Bogenlampen hergestellt. Bei dem stetig wachsenden Verbrauch an diesen hat sie jetzt ein großes Absatzgebiet gefunden.

Nun wollen wir die allmähliche Entwickelung der Gasbeleuchtung einer großen Stadt hier in Kürze betrachten, weil sie uns einen Einblick in die jetzige Größe der Gasindustrie gewähren wird.

Das Berliner Polizeipräsidium hatte am 21. April 1825 mit einer englischen Gesellschaft der Imperial-Continental-Gasassociation einen Vertrag abgeschlossen, der ihr auf die Dauer von 21 Jahren das Recht einräumte, Gasröhren in den Straßen zu verlegen und Gas zur öffentlichen und Privatbeleuchtung zu liefern. Für die Rohrleitungen, welche im Jahre 1847 vorhanden sein würden, war ihr die dauernde Benutzung auch nach diesem Jahre zugesichert. Das Gas wurde damals mit 35,3 Pf. per 1 cbm bezahlt. Trotzdem muß der Verdienst kein übermäßiger gewesen sein, indem später die Gesellschaft zur Ausdehnung ihres Rohrnetzes auf noch nicht belegte Stadtteile nicht einzugehen geneigt war. So beschloß denn die Stadt, die Beleuchtung dieser Teile selbst in die Hand zu nehmen. Im Jahre 1847 begann neben jener Gesellschaft die Stadt ihren Betrieb mit zwei Gasanstalten, denen sich 1859 die dritte, 1873 die vierte anschloß, welchen 1895 die fünfte folgte.

Die Gesamtkosten dieser städtischen Anstalten samt dem zugehörigen Röhrennetz u. s. w. betrugen bis Ende März 1895 65 626 120 M. Alle fünf Anstalten können zusammen täglich 593 000 cbm Gas fabrizieren, zu deren Erzeugung vorhanden sind: 24 Öfen mit Rostfeuerung, die 186 Retorten enthalten, und 365 Öfen mit Generatorgasfeuerung, in denen 3043 Retorten liegen. Die Kondensatoren sind gußeiserne Cylinder von 1—1,8 m Durchmesser und 6,6—8,8 m Höhe. Jeder Cylinder ist innen mit 7—12 gußeisernen Röhren versehen, durch die Kühlwasser geleitet wird. Hinter den Kondensatoren folgen Apparate zur Teerabscheidung mit einer Leistung von 50 000 cbm in 24 Stunden. Die Skrubber, aus gußeisernen Platten erbaut, haben teils rechteckigen, teils zehn- bis zwölfeckigen Grundriß mit einem Durchmesser bis zu 4,2 m und eine Höhe bis 15 m. Die Exhaustoren sind teils Dampfstrahlsaugeapparate, teils Kolbenluftpumpen, mit einem Cylinderdurchmesser bis zu 1,2 m und 1 m Hub. Die Reinigerkästen bilden zu je vieren ein System und sind auf 4 Hordenschichten mit Raseneisenstein belegt. Vor ihnen sind Vorreiniger eingeschaltet, die nur mit Sägespänen auf 4—6 Horden gefüllt sind. Dann folgen die Stationsgasmesser, die bis 3600 cbm in 24 Stunden zu messen gestatten. Die Gasbehälter, deren 22 vorhanden sind, fassen einzeln 2800—94 000 cbm, alle zusammen haben einen Inhalt von 617 700 cbm. Das Rohrnetz hat eine Länge von 862,1 km Hauptleitungen, deren größter Durchmesser 1065, deren mittlerer 264 mm beträgt.

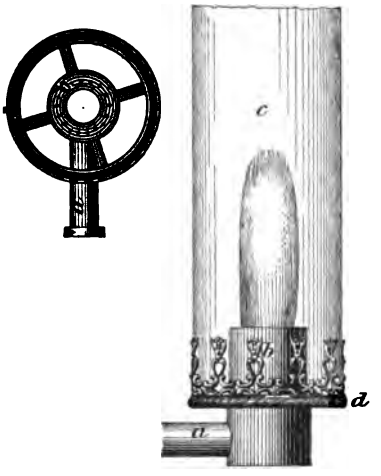
Vom 1. April 1894 bis 1. April 1895 wurden 365 289 t Kohlen verarbeitet, also zufällig täglich 100 Waggonladungen. Von diesen stammten 215 654 t aus Oberschlesien, 127 614 t aus dem Waldenburger Revier und 22 021 t waren englische Kohlen. Aus ihnen wurden gewonnen: 103 789 000 cbm Gas, 244 785 t Koks, 18 284 t Teer und 35 846 t Ammoniakwasser. Verkauft wurden 190 795 t Koks, die Differenz war also verfeuert worden, sowie der gesamte Teer und das Ammoniakwasser und 206 000 kg Retortenkohle. Von 6—12 Uhr ist an jedem Sonntag Vormittag Stillstand des Betriebes, der Schichtenwechsel der Arbeiter findet am Sonntag Mittag statt, die eine Kolonne ist Sonntag früh 6 Uhr fortgegangen, die andere tritt mittags 12 Uhr zur Arbeit an.

Der Gesamtjahreskonsum betrug 103 913 000 cbm. Davon beanspruchte die Straßenbeleuchtung 16 242 453 cbm, an Private wurden verkauft 72 195 484 cbm und für Motoren und zu Heiz- und Kochzwecken 9 981 021 cbm abgegeben. Verlust und Selbst-

verbrauch machten 5 474 042 cbm aus. Der höchſte Tagesverbrauch war 529 000 cbm, der höchſte Verbrauch pro Stunde 62 000 cbm. Die Anzahl der Privatflammen betrug 947 383, außerdem waren 1184 Gasmotoren im Betriebe. Der Preis pro 1 cbm beträgt jetzt (1897) für Gas zu Leuchtzwecken 16 Pf., für ſolches zu Heiz- und Kochzwecken 10 Pf.

Zu dem angegebenen Gasverbrauch der Stadt Berlin kommt alſo noch das hinzu, was die Anſtalten der Imperial-Continental-Gas-Aſſociation liefern. Die erſte Anlage vom Jahre 1826 erwies ſich bald als zu klein, und 1838 vergrößerte man ſie auf eine Tagesleiſtung von 28 000 cbm. Die Geſellſchaft betreibt jetzt fünf Gasanſtalten, die teils Teile von Berlin, teils die Vororte verſorgen, und die zuſammen auf eine Tagesleiſtung von 267 000 cbm eingerechnet ſind. Angaben über die thatſächliche Produktion liegen aus neuerer Zeit nicht vor.

Wir kommen jetzt zu den Leuchtgasbrennern, ein Gebiet, auf das wieder einmal mit vollem Recht das Wort von der Not, die erfinderiſch macht, zutrifft. Bis in die achtziger Jahre war das Gas namentlich durch die Bequemlichkeit ſeiner Verwendung und teilweiſe auch hinſichtlich des Preiſes den anderen bis dahin erfundenen Beleuchtungsarten ſo überlegen geweſen, daß man mit ſeinen Leiſtungen völlig zufrieden war. Da fing hinſichtlich des Preiſes das Petroleum an, Konkurrenz zu machen, und was weit energiſcher wirkte, hinſichtlich der Helligkeit das elektriſche Licht, von dem man ſogar kurze Zeit annahm, daß es der Leuchtgasfabrikation ernſtlich Abbruch thun werde. Aber ſo wenig das Leuchtgas die Kerzen und die Öl- und Petroleumlampen verdrängt hat, ſo wenig hat das elektriſche Licht es ſeinerſeits zu verdrängen vermocht. Was nur ununterbrochen gewachſen iſt, iſt das Bedürfnis nach Licht namentlich zum Zweck der Schonung der Augen. Wo ſitzen heute noch wie vor ſiebzig Jahren mehrere arme Näherinnen um eine Talgkerze (nicht Stearinkerze) herum und machen womöglich feine Handarbeiten bei dieſer Beleuchtung. Heute benutzen ſie ohne Mehrausgabe doch zum wenigſten eine Petroleumlampe zum Beleuchten, und wenn im allgemeinen heute die Augen der gelehrten Welt beſſer ſind als zu jenen Zeiten, ſo liegt das ſicher mit daran, daß ſie bei dem vielen Schreiben und Leſen bei künſtlicher Beleuchtung ebenfalls von Jugend auf nicht mehr auf die Talgkerze angewieſen ſind.



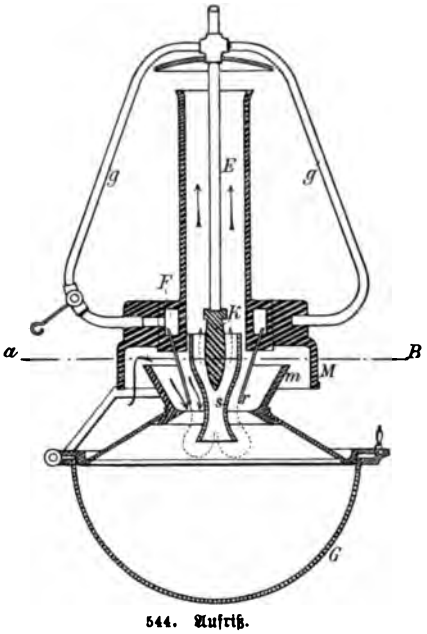
548. Argandbrenner.

Bis in die achtziger Jahre ließ man das Gas wohl einfach aus einer Spitze ausſtrömend brennen, welches die ſchlechteſte Art ſeiner Benutzung und darum ziemlich ſelten war, oder man benutzte die Schnittbrenner, wie ſie bis heute vielfach üblich z. B. bei Straßenlaternen ſind. Auch bei ihnen brennt das Gas ohne weiteres aus einem Schlitz heraus. Die Flamme nimmt hierbei die Form der Fledermausflügel an. Daß eine geregelte Luftzufuhr zur Flamme ein beſſeres Brennen bewirke, hatte zur Übertragung des Argandbrenners auf die Gasbeleuchtung geführt. Der Franzoſe Argand hat ihn ſchon 1789 für Öllampen konſtruiert. Die Einrichtung dieſes Brenners für die Gasbeleuchtung iſt folgende. Das Gas gelangt durch a nach einem Rundbrenner b, aus dem es durch eine Anzahl feiner Löcher ausſtrömt. Zur gleichmäßigen Luftzufuhr und als Zugerreger dient ein Glascylinder, der auf dem Rande d aufſitzt. Die durch die Flamme erzeugte Wärme erzeugt im Cylinder einen aufſteigenden Luftſtrom, der ein Nachſtrömen der friſchen Luft von unten veranlaßt, die nun nicht nur von außen, ſondern, da der Brenner die Form eines Kranzes hat, auch von innen an die Flamme tritt und ſo ein gleichmäßiges kräftiges Brennen und Leuchten herbeiführt.

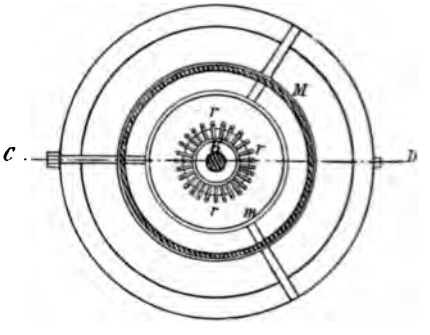
Nun beruht doch, wie wir wiſſen, das Leuchten des Gaſes auf der Abſcheidung von Kohlenpartikelchen in der heißen Flamme, die hier in Glut geratend Licht ausſtrahlen.

Gelingt es daher, die Flamme an sich heißer zu machen, so werden diese Kohlenpartikelchen entsprechend der höheren Temperatur, auf welche sie erhitzt sind, auch helleres Licht verbreiten. Eine solche bedeutende Steigerung der Hitze ist in der Siemensschen Regenerativgaslampe erreicht. Ihre erste Konstruktion war noch eine solche, bei der das Gas, wie in den bisherigen Lampen, nach oben brannte, wodurch der untere Körper der Lampe Veranlassung zu starker Schattenbildung gab. Hernach sind dann die invertierten Gasbrenner aufgekommen, bei denen die ganze Lampenkonstruktion oberhalb der Flamme liegt, so daß die invertierte Flamme jetzt innerhalb einer Glasglocke brennt und ihr volles Licht nach unten ausstrahlt. Wir geben hier die Konstruktion der Siemensschen invertierten Regenerativgaslampe im Anschluß an das deutsche Patent 40 310 wieder.

Die Zeichnung stellt in zwei Durchschnitten, Abb. 544 im Aufriß und Abb. 545 im Grundriß, diesen Brenner dar. Er besteht aus den Gaszuleitungsröhren g, von denen in den horizontal gestellten Gasring R entweder nur eines oder auch beide seitlich einführen. Dieser Gasring R trägt nach unten zu eine Anzahl kreisförmig eingeschraubter oder eingetriebener Brennröhrchen r, welche sich nach unten, wie Abb. 545 darstellt, zu einem kleineren Kreis zusammenziehen. An der untersten und engsten Stelle des durch die Brennröhren r gebildeten Kreises befinden sich die Mündungen derselben. An dieser Stelle entweicht das durch die Gaszuleitungsröhren in den Gasring geführte Gas nach unten behufs Verbrennung. Die dazu erforderliche Brenn-



544. Aufriß.



545. Grundriß.

544 u. 545. Siemens' invertierter Regenerativgasbrenner.

luft wird von unten (s. Pfeile) in den äußeren Mantel M eingeführt, steigt zuerst nach oben über den sich analog der Stellung der Brennröhren nach oben erweiternden Mantel m, um von oben in den Raum, in welchem die Brennröhren sich befinden, dieselben umgebend, einzutreten und mit dem Brenngas als Flamme nach unten zu entweichen. Behufs besserer Zusammenführung von Gas und Luft trägt der innere Mantel m am unteren Ende nach innen zu eine Leitfläche, wie in Abb. 544 dargestellt, wodurch der Durchgangsquerschnitt an dieser Stelle sehr verengt wird. Die Flamme entwickelt sich nach abwärts, wird aber durch den nach unten zu ausgeschweiften Essenhals s aus Porzellan oder anderen feuerfesten Stoffen wieder auseinander getrieben, den unteren Rand des Essenhalses umgebend, nach innen abgelenkt, um durch den eigentümlich geformten Essenhals aufwärts durch den Gasring nach der Esse E zu entweichen.

Der hier aus Porzellan dargestellte Essenhals s besitzt, wie Abb. 544 darstellt, eine starke Einschnürung in Höhe der am Mantel m angebrachten Leitfläche, so daß die Schnürung der Flamme außerhalb und innerhalb des Essenhalses sich auf einer Horizontalebene befindet. Die untere Erweiterung des Essenhalses ist trompetenförmig gestaltet, während derselbe sich nach oben konisch erweitert. Am oberen weiteren Ende trägt der

Essenhals eine Bajonettverschlußvorrichtung, die es ermöglicht, den Essenhals von unten in den Brennring oder die Esse einzusetzen, wenn Ersatz nötig wird. Im oberen erweiterten Teile des Essenhalses ist ein konisch geformter massiver oder hohler hellfarbiger Körper K aus feuerfestem Material derart angebracht, daß die Verbrennungsprodukte, nach aufwärts steigend, diesen Körper umgeben und ihn berühren behufs Abgabe ihrer mitgeführten Wärme. Dieser feuerfeste Körper K wird dadurch sehr heiß und dient dem Zwecke, die so erhaltene Wärme durch Strahlung auf die inneren Flächen des Essenhalses zu übertragen. Durch diese Anordnung wird ein großer Teil der sonst verloren gehenden Wärme der Verbrennungsprodukte ausgenutzt, und zwar um den Essenhals s, die Brennröhren r und die Mäntel m und M durch Leitung und Strahlung zu erwärmen; mit deren heißen Flächen wird die zugeführte Brennluft in innige Berührung gebracht, also ebenfalls hoch vorgewärmt.

Wie bei den meisten invertierten Brennern, bei welchen die heiße Luft keinen freien Auftrieb besitzt, muß die Flamme innerhalb eines Glasverschlusses brennen. Dieser Glasverschluß wird in vorliegendem Falle durch die Glashalbkugel G und den Glaskonus S gebildet. Durch diesen doppelten Glasverschluß wird es möglich, auch einen großen Teil des erzeugten Lichtes direkt nach oben zu werfen, was bei den anderen Brennern nicht möglich war.

Eine solche Siemenslampe ergibt aus dem gleichen Gasquantum das 1,⁹⁵fache an Licht im Verhältnis zu einem Schnittbrenner.

Den merkwürdigsten Fortschritt auf dem Gebiete der Gasbeleuchtung bildet aber das Auersche Gasglühlicht. War das elektrische Licht vielleicht 10 Jahre lang als gefährlicher Konkurrent des Gases erschienen, so hat diese Erfindung die Verhältnisse völlig umgestaltet. Die Helligkeit des elektrischen Bogenlichtes bleibt allerdings hiervon unberührt, nicht aber die für die Zimmerbeleuchtung allein brauchbare elektrische Glühlampe. Während deren scharfes Licht von einem dünnen Faden geliefert wird, bildet hier ein im Verhältnis dazu außerordentlich großer Glühstrumpf die lichtausstrahlende Fläche. Weiter kostet es, wenn der Gashahn richtig eingestellt und so eine Gasverschwendung vermieden wird, was bisher das große Publikum allerdings nicht begriffen zu haben scheint, indem es die Gashähne meist ganz zu öffnen liebt, wohl kaum mehr als Petroleumbeleuchtung.

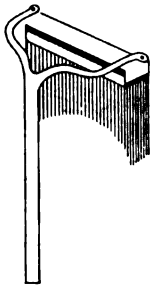
Das Auersche Glühlicht war durchaus nicht das erste Gasglühlicht. An derartige Lichtquellen ist lange vor dessen Erfindung gedacht worden, aber Erfolg hatte erst seine Herstellung durch Auer, dessen Verdienst durch die vorausgegangenen mißglückten Versuche in keiner Weise geschmälert wird.

Am bekanntesten ist das Drummondsche Kalklicht. Wasserstoffgas oder Leuchtgas werden nicht mit Luft sondern mittels Sauerstoff verbrannt, und die so entstehende außerordentlich heiße, aber selbst nicht leuchtende Flamme (weil der Sauerstoff in genügender Menge zugeleitet wird, um sogleich den gesamten Kohlenstoff des Leuchtgases zu verbrennen) wird gegen ein Stück Kalk geleitet. Kalk ist auch bei dieser hohen Temperatur ganz unveränderlich, gerät daher in höchste Weißglut und strahlt nun ein sehr helles Glühlicht aus. Für dieses Licht braucht man also zwei Gase, erstens entweder Wasserstoffgas oder Leuchtgas und zweitens Sauerstoffgas. Zwecks billiger Erzeugung dieses Lichtes sind die ausgedehntesten Versuche zur billigen Herstellung von Sauerstoffgas, aber alle ohne Erfolg gemacht worden. Heute, wo komprimiertes Sauerstoffgas, wenn auch nicht billig so doch wenigstens bequem in Bomben käuflich ist, wäre die Herstellung des Kalklichts weit bequemer als in früheren Jahren, heute kann man aber mit dem elektrischen Bogenlicht mühelos die gleiche und, wenn man will, auch noch größere Helligkeit erreichen. Erwähnenswert ist, daß im Jahre 1872 der Boulevard des Italiens zu Paris eine Zeitlang mit Drummondschem Kalklicht beleuchtet wurde, indem man zu den Laternen eine zweite Gasleitung führte, durch die nach dem System Tessié du Motays im großen hergestellter Sauerstoff geleitet wurde, worauf man mit diesem das Leuchtgas verbrannte und durch die Flamme Stücke Zirkon, welche ebenfalls völlig feuerbeständig aber haltbarer als Kalk sind, in Weißglut versetzte. Doch bewährte sich die Anlage im großen nicht.

Die erste Glühlichtbeleuchtung, die im Prinzip ganz der Auerschen entspricht, hat sogar schon Gillard im Jahre 1848 eingerichtet; er stellte ein möglichst billiges Gas, sogenanntes Wassergas, dar. Dies erhält man durch Überleiten von Wasserdampf über glühende Kohlen. Es besteht aus Wasserstoffgas und Kohlenoxydgas, indem es sich nach der Gleichung

Wasser	+	Kohle	=	Wasserstoffgas	+	Kohlenoxyd
H_2O	+	C	=	H_2	+	CO

bildet und verbrennt, weil kein Kohlenstoff zur Ausscheidung gelangt, ohne zu leuchten, also nach Art der Spiritusflamme. Die Hitze, die es beim Verbrennen erzeugt, ist aber sehr hoch. Gillard hing nun in die heiße Flamme ein Netzwerk aus feinem Platindraht, das, glühend geworden, Gasglühlicht ausstrahlt. Auf diesem Wege ist z. B. eine Zeitlang die Stadt Narbonne beleuchtet worden. Der Erfolg des Verfahrens scheiterte daran, daß nach kurzer Zeit das Platin brüchig wurde, worauf das Netzwerk zerfiel, dessen öftere Erneuerung bei diesem kostbaren Metall zu teuer war. Noch einmal lebte diese Beleuchtungsart in den achtziger Jahren auf, als Fahnehjelm in die nichtleuchtende Flamme des Wassergases sogenannte Magnesiakämme hängte, welche aus feinen Magnesiastäbchen bestehen. Die Unbrauchbarkeit dieser Beleuchtungsmethode bewirkte die rasche Abnahme der Lichtausstrahlung der Kämme, so sank sie bei einem solchen in 15 Stunden von 27 auf 11 Kerzen, und zugleich zeigte sich auf den Kämmen ein brauner Beschlag. Die Untersuchung lehrte, daß dieser aus Eisenoxyd bestand, und das weitere Verfolgen der Angelegenheit führte zur höchst merkwürdigen Entdeckung einer gasförmigen Eisenverbindung im Wassergase, es ist das Eisenkohlenoxyd, $Fe(CO)_4$, welches bis zu dieser Zeit allen Beobachtungen entgangen war.



546. Magnesiakamm.

Dieses Eisenkohlenoxyd ist es jedenfalls auch gewesen, welches seinerzeit den Zerfall der Platinnetze bei dem Gillardschen Lichte herbeiführte.

Das Prinzip des Auerschen Gasglühlichts beruht nun auf einer anderen Beobachtung, und diese ist, daß die Sauerstoffverbindungen einiger ehemals sehr seltenen Metalle die Eigenschaft haben, bei starkem Erhitzen ein helles, freundliches Licht auszustrahlen. Die mit den Oxyden verschiedener seltener Metalle angestellten Versuche haben weiter ergeben, daß wiederum alle anderen an Brauchbarkeit das Ceroxyd übertrifft. Das Cerium ist von Berzelius im Jahre 1803 in einem sehr seltenen Mineral, das der verlassenen Eisengrube „Bastnäs" bei Riddarhytta in Westmanland in Schweden entstammte, entdeckt worden. Seinen Namen gab er ihm zu Ehren des im Jahre 1801 von Piazzi entdeckten kleinen Planeten Ceres. Dem Ceroxyd ist im allgemeinen etwas Thoroxyd beigemischt. Auch dieses ist von Berzelius, aber erst im Jahre 1828, und zwar in einem auf der norwegischen Insel Lövön gefundenen Mineral entdeckt worden. Seinen Namen gab er ihm zu Ehren des nordischen Gottes Thor.

Es sind keine fünfzehn Jahre verflossen, daß man diese Elemente für so selten hielt, daß sie selbst in vielen größeren chemischen Laboratorien nicht zu finden waren, und Verbindungen des Thors waren etwa zehnmal so teuer als solche des Goldes. Aber kaum begann sich die Erfindung Auers von Welsbach zu bewähren, als ein Absuchen der Erde nach diesen seltenen Mineralien begann. So fand man sehr bald in den Vereinigten Staaten Nordamerikas ganze Felsen, welche reichlich Thorium enthalten.

Die wichtigste Rolle aber unter den Lieferanten dieser seltenen Stoffe spielt der Monazitsand, welcher jetzt wohl am meisten auf sie verarbeitet wird, zumal er reichlich Ceroxyd, also den wichtigsten aller dieser Stoffe, enthält. Er findet sich an mehreren Orten der Vereinigten Staaten, in Nordbrasilien, zu Miask am Ural und zu Moß in Norwegen.

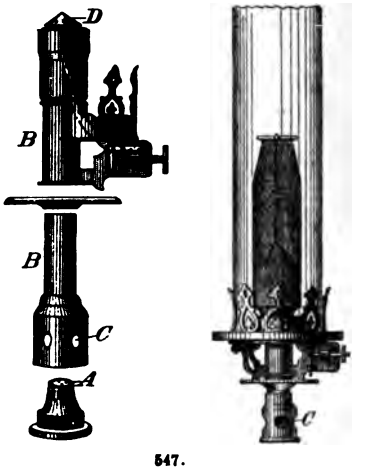
Der nordamerikanische Monazit kommt entweder in Kryställen von sehr verschiedener Größe oder als Monazitsand in den Handel, und zwei Analysen desselben ergeben folgendes:

Nordamerikaniſcher Monazitſand von

	Shelby	Bellewood
Ceroxyd	63,80 %	59,09 %
Thoroxyd	2,82 „	1,19 „
Phosphorſäure	28,16 „	26,05 „
Kieſelſäure	3,20 „	1,45 „
Zirkonoxyd	1,52 „	2,68 „
Titanſäure	0,61 „	1,40 „
Tantalſäure	— „	6,89 „
Eiſen, Mangan und Thonerde	— „	0,80 „

Das Mineral läßt ſich durch Schwefelſäure zerlegen, ſo daß man durch Behandeln mit ihr das Cer und Thor als ſchwefelſaure Salze in Löſung bekommt, welche man für die Herſtellung der Glühſtrümpfe in ſalpeterſaure Salze überführt.

Die Glühſtrümpfe beſtehen urſprünglich aus Baumwolle und werden in der Löſung der ſalpeterſauren Salze längere Zeit liegen gelaſſen, alsdann getrocknet, abgebrannt und ausgeglüht, wobei ſie ein ſo helles Licht ausſtrahlen, daß die Augen der Arbeiterinnen durch blaue Brillen geſchützt ſein müſſen.



547.
Konſtruktion eines Gasglühlichtbrenners.

Werden ſie neuerdings ins Glühen verſetzt, ſo ſtrahlen ſie wiederum das helle Licht aus, und zwar je heißer ſie werden, um ſo heller leuchten ſie. Die gewöhnliche Gasflamme iſt für dieſen Zweck nicht zu gebrauchen, weil ſie ſie berußen alſo ſchwärzen würde. Deswegen dient zu ihrem Erhitzen der Bunſenbrenner, in welchem dem Leuchtgas vor dem Brennen ſo viel Luft zugemiſcht wird, daß in dem Gemiſch genügend Sauerſtoff vorhanden iſt, damit ſofort aller Kohlenſtoff des Gaſes zu Kohlenſäure verbrennt und keine Ausſcheidung von Kohlenſtoff, die ſonſt das Leuchten bewirkt und in unſerem Falle das Rußen bewirken würde, ſtattfindet, ſo daß die Flamme das Ausſehen einer Spiritusflamme annimmt. Erreicht wird das auf folgende Art, wie wir an dem auseinandergeſchraubten Brenner ſehen. Das bei A ausſtrömende Gas der Gaszuleitung ſtrömt durch die Röhre B aufwärts, dieſe hat vier Löcher C neben der Einſtrömungsſtelle des Gaſes, welches durch dieſe Löcher Luft mit nach oben reißt, wo das Gemiſch an der mit einem Drahtnetz D bedeckten Öffnung angezündet wird. In die nunmehr nicht leuchtende, aber durch die ſchnelle Verbrennung ihres geſamten Kohlenſtoffgehaltes recht heiße Flamme hängt man den Glühſtrumpf, wie wir es an dem fertig montierten Brenner auf der Abbildung ſehen und täglich im Leben zu ſehen Gelegenheit haben.

Das einſt ſo ſeltene ſalpeterſaure Thor iſt nunmehr durch die Erfindung des Gasglühlichtes und ſeine Verwendung zu den Glühſtrümpfen zu einem Maſſenartikel geworden, und während Anfang 1895 das Kilogramm von ihm noch bis 1900 Mark koſtete, kaufte man es zwei Jahre ſpäter bereits für 70 Mark.

Nun noch einige zahlenmäßige Angaben über die heutigen Anſprüche an künſtliche Beleuchtung und ihr allmähliches Wachstum. Man rechnet jetzt etwa 2 bis 4 Kerzenſtärken auf den Quadratmeter Bodenfläche, geht über dieſe Zahlen aber für brillante Beleuchtungen weit hinaus; ſo ſteigen ſie in Theatern von 6 bis gegen 30 Kerzen, während man das auf einen vom Tageslicht gut beleuchteten Quadratmeter fallende Licht auf 50 Kerzen ſchätzt. Um gut leſen und ſchreiben zu können, hat man zum wenigſten eine Beleuchtung von 10 Kerzenſtärken für den Quadratmeter nötig.

Hinſichtlich des wachſenden Lichtbedürfniſſes ſeien folgende Zahlen des Franzoſen Maſcart angeführt.

	Grundfläche Quadratmeter	Inhalt Kubikmeter	Gesamtzahl der Kerzenstärken	Anzahl der Kerzenstärken auf den Quadratmeter	Anzahl der Kerzenstärken auf den Kubikmeter
Großer Spiegelsaal des Schlosses zu Versailles.					
Im Jahre 1745 . .	720	9360	1800	2,50	0,19
„ „ 1873 . .	720	9360	4000	5,55	0,43
„ „ 1878 . .	720	9360	8000	11,10	0,85
Festsaal des Schlosses zu Compiègne.					
Im Jahre 1888 . .	440	3520	1000	2,28	0,28
Große Oper zu Paris an Ballabenden.					
Foyer	672	7392	6000	8,93	0,81
Saal	400	9200	11 140	27,85	1,21
Bühne	530	8000	4720	8,90	0,59
Comédie française zu Paris.					
Saal	240	3500	2340	9,75	0,67

Die Teerdestillation.

Wenn wir in der Lage sind, hier so ausführliche und präzise Mitteilungen nebst Abbildungen über die Destillation des Teers und der hierfür verwendeten neuesten Apparate und Einrichtungen zu geben, so verdanken wir dies dem Entgegenkommen des Herrn Paul Schütze, welcher in seiner Maschinenfabrik zu Oggersheim in der Pfalz die Einrichtungen solcher Fabriken als Spezialität herstellt, und seinem chemischen Berater Herrn Marx, der uns seine reichen Erfahrungen auf diesem Gebiete zur Verfügung stellte.

Den Grundriß einer solchen Fabrik nebst einer Dachpappenfabrik sehen wir auf S. 599.

Der zur Destillation bestimmte Teer wird nach seinem Eingang in die Fabrik in großen eisernen oder gemauerten Behältern einige Zeit aufbewahrt, wodurch eine bessere Trennung des Teers vom stets in ihm enthaltenen Wasser ermöglicht wird. Vielfach legt man Dampfröhren in diese Behälter, um den Teer namentlich im Winter etwas anwärmen zu können, zudem trennen sich lauer Teer und Wasser schneller und besser als kalter.

Man pumpt dann den bereits ziemlich entwässerten Teer aus den Teerbehältern in die Teerblase, aus der er destilliert werden soll. Eine solche Blase wird auf eine Feuerung gesetzt und auch da, wo keine Feuerzüge laufen, gut ummauert, um Abkühlung zu verhüten. Die Decke der Blase wird aus demselben Grunde mit einer Wärmeschutzmasse belegt oder auch übermauert.

Diese Blasen werden meistens in der einfachsten Form verwendet. Sie stellen eiserne Cylinder vor, etwas höher als breit, ein gekrümmtes Rohr zum Abzug der Dämpfe in den Kühler, Mannloch und Ablaßhahn, sonst nichts besitzend, die man oft im Freien stehen läßt. Besser ausgerüstete Blasen enthalten noch Ventil, Füllhahn und Thermometerröhren. Auch stellt man sie unter Dach, um den Arbeiter vor dem Ungemach des Wetters zu schützen und so ihre geregelte Bedienung zu sichern.

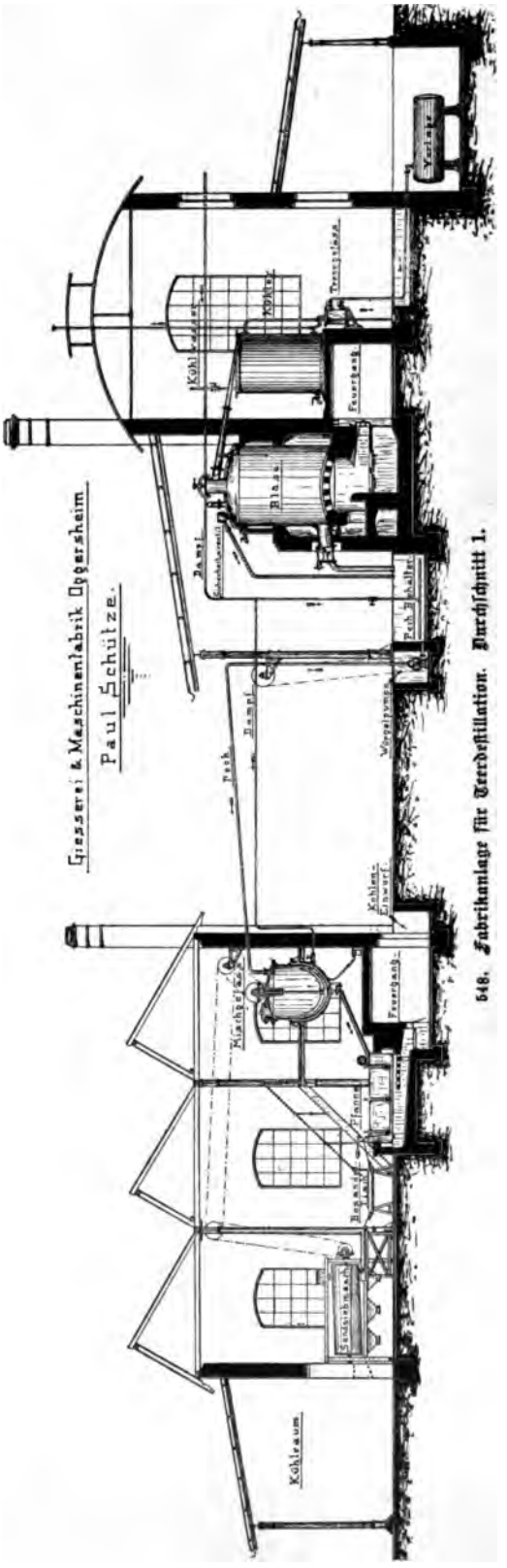
Die auf den beigegebenen Zeichnungen dargestellte Teerblase ist mit diesen verschiedenen Verbesserungen und Sicherungen versehen, welche man jedoch wohl selten an einer und derselben Blase beisammen antreffen dürfte. Die Blase ist zu einer Destillation von etwa 15000 kg Teer bestimmt. Die Feuerung ist seitlich von einem Feuergang aus zu bedienen. Diese Anordnung bewirkt eine ausnehmend große Feuersicherheit, da die Blase hierdurch und durch die Brandmauer völlig von der Feuerung getrennt ist und so bei einem etwaigen Übersteigen des Teers nichts davon ans Feuer gelangen und sich entzünden kann. Nebenbei gibt die Decke des Feuerganges das Podest ab, auf dem die Kühler zu stehen kommen. Man kann so eine ganze Reihe von Blasen nebeneinander aufstellen, darf aber, wenn man nicht den ganzen Tag künstliche Beleuchtung anwenden will, den Feuergang nicht ununterbrochen durchgehen lassen, sondern muß ihn in so viele voneinander unabhängige Abteilungen trennen, als durch das von den Seitenthüren her einfallende Licht noch erleuchtbar sind. Die Thüren stellt man vorteilhaft als Fall-

thüren oder sonst selbstthätig schließbare Thüren her, um bei Bedarf sie zur Verhütung von Entzündung sofort abschließen zu können.

Die abgebildete Blase ist mit einem durchbrochenen Gewölbe untermauert, um ihren Boden vor dem Durchbrennen zu schützen. Die Weite der Öffnungen hängt vom verwendeten Brennstoff ab. Das Gewölbe hat keine Verbindung mit einem Abzuge, so daß also nur strahlende Wärme durch das Gewölbe hindurch an den Blasenboden gelangt, aber ihn keine eigentlichen Flammen treffen. Hierdurch wird das sonst leicht mögliche Durchbrennen des Blasenbodens bei richtiger Bedienung vermieden. Um es auch bei weniger tüchtigen Arbeitern zu verhindern, benutzt man Blasen mit Rührwerk oder Vorrichtung zum Durchleiten erhitzten Dampfes, denn der Hauptgrund des Anbrennens ist, daß sich in der Blase sogenannte Pechkohle bildet und anbackt, die den kühlenden Blaseninhalt vom Blasenboden trennt und so sein Erglühen ermöglicht. Durch Rühren oder durchströmenden Dampf wird aber der Boden immer blank erhalten.

Die Blase selbst ist aus Schmiedeeisen mit aufwärts gewölbtem Boden und innerer runder Sammelrinne hergestellt. Der Ablaßstutzen ist so weit, daß er bestiegen werden kann. Der an ihm sitzende Hahn ist ein Oggersheimer Ventilhahn mit Innenverschluß. Die Blase hat weiter besteigbaren Helm mit Abzugsrohr für die Dämpfe, eine Thermometerröhre, ein Ventil mit Abzugsrohr für etwaiges Übersteigendes, ferner einen Hahn, welcher das Rohr abschließt, das von den Teerbehältern herführt. Etwas unterhalb der Decke hat sie einen Entwässerungshahn, denn beim Erhitzen in der Blase scheidet der Teer stets nochmals Wasser aus, welches durch diesen Hahn abgelassen werden kann, indem man ein nach innen gehendes und innen gebogenes Rohr, das an ihm befestigt ist, so stellt, daß sein Schenkel innen dem Spiegel des aufschwimmenden Wassers folgt.

Bei der in der Zeichnung angenommenen Anlageart ist also die Blase aus Gründen vermehrter Feuersicherheit



548. Fabrikanlage für Teerdestillation. Durchschnitt 1.

vom Kühlraum getrennt. Das Rohr, welches die Dämpfe des Destillates abführt, geht daher durch die Brandmauer hindurch in den Kühler. Die Einrichtung der Kühler wird sehr verschieden gewählt. Hier ist ein einfacher runder Wasserbehälter angenommen, in dem eine Kühlschlange von der Art liegt, wie wir am Kühler der Rohölblase sehen, wo ein Stück der Schlange sichtbar gemacht ist.

Bei der Beschickung der Blase mit Teer füllt man sie etwa bis an den Entwässerungshahn, worauf man zu erhitzen anfängt. Hierdurch trennen sich Teer und Wasser völlig, zugleich dehnt sich der Inhalt der Blase aus, und durch Senken des am Entwässerungshahn innerhalb der Blase befindlichen Rohres läßt man alles Wasser ausfließen. Kommt schließlich nur noch Teer, so schließt man den Hahn. Dies Erhitzen muß vorsichtig geschehen und erfordert daher einen intelligenten Arbeiter.

Das sich ausscheidende Wasser ist ammoniakhaltig (s. S. 584), ebenso das bei Beginn der Destillation mit übergehende. Das Destillat geht durch eine Kühlschlange, welche im Anfange gut gekühlt wird, und von dort in eine Vorlage, welche Vorrichtungen zum Trennen der Destillate enthält, während die sich entwickelnden unverdichteten Gase durch ein Rohr abgeführt werden. Man pflegt zwischen diesem Abführungsrohre und dem Rohrauslauf als Sperre einen Wassersack zu bilden, damit die Gase nicht aus der Mündung des Kühlers austreten können.

Diese erste Trennvorlage sieht fast in jeder Fabrik anders aus, eine einfache Form ist auf der Abbildung S. 597 dargestellt. Das Trenngefäß wird bedeckt. Ein mehr oder weniger großer Ausschnitt im Deckel wird mit einer glatt aufliegenden Platte überdeckt, welche leicht beiseite geschoben werden kann. Solange keine heißen Destillate kommen, kann man statt der Platte auch eine Glasscheibe nehmen. Der Einlauf in das Trenngefäß findet unterhalb des Deckels statt. Oben an der Seite hat das Gefäß eine Öffnung, durch welche eine Röhre geht, welche innen etwas oberhalb des Bodens endigt, außerhalb beliebig lang sein darf, nur muß außerhalb oben auf der Krümmung der Röhre ein Röhrchen aufgesetzt sein, um Luft zuzulassen und so zu verhindern, daß die Röhre als Heber wirken kann. Man füllt vor der Destillation das Trenngefäß mit mindestens so viel Wasser, daß das innere Ende des Rohres untertaucht.

Wird nun destilliert, so füllt sich das Trenngefäß mit dem übergehenden Öl- und Wasserdestillat, wobei das Öl nach oben steigt. Hat sich das Gefäß bis an seine obere Hahnreihe gefüllt, so öffnet man denjenigen dieser Hähne, welchen man benutzen will, und es wird das obenschwimmende Öl ausfließen, während das unten befindliche Wasser durch die bis nahe zum Boden reichende soeben beschriebene Röhre abläuft. Kommt dann aber bei weiterer Destillation im Wasser untersinkendes Öl, so läßt man das Wasser ab und läßt das nunmehr übergehende Schweröl durch einen der unteren Hähne ab. Diese untere Hahnreihe dient auch für die noch später kommenden nur in der Wärme flüssigen und deshalb bei warmgehaltenem Kühler übergehenden Destillate. Diese sind zuerst stark naphtalinhaltig, sodann folgt wieder ein auch in der Kälte flüssiger Anteil, und auf diesen wieder die einen warmen Kühler erfordernden anthracenhaltigen Öle. Destilliert man bis auf diesen letzten, wobei schließlich in der Blase das, was man Hartpech nennt, hinterbleibt, so ist die Benutzung eines Vakuums, also die Destillation im luftverdünnten Raume (s. S. 320) vorzuziehen, um die Temperatur in der Blase weniger erhöhen zu müssen.

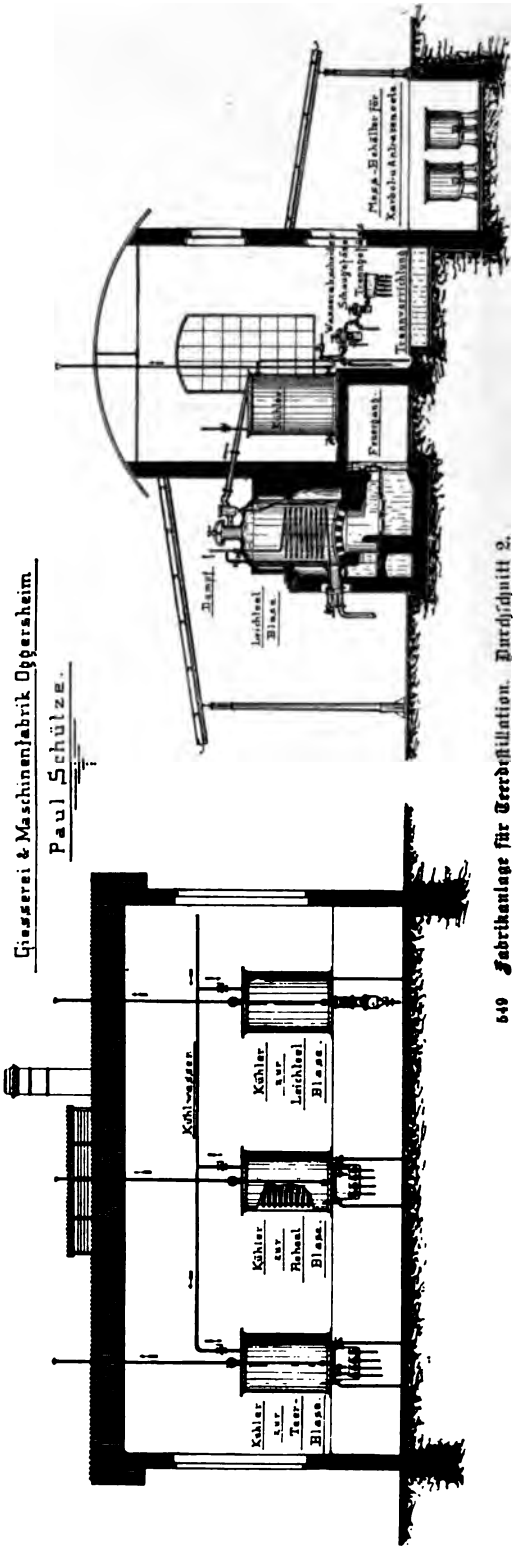
Für die bei gewöhnlicher Temperatur erstarrenden Destillate muß also das Kühlwasser entsprechend warm gehalten werden. Es ist deshalb gut, ein Dampfrohr zum allenfallsigen Einleiten von Dampf in den Kühlbehälter zu legen. Bei geschickter Leitung der Destillation jedoch erwärmt die Destillation selber das Kühlwasser genügend. Die verschiedenen Destillate trennt man durch Ableiten in bestimmte Vorlagen, und dies erleichtern die verschiedenen Hähne im Trennungsgefäß, von denen jeder mit der betreffenden Leitung in Verbindung gesetzt werden kann.

Die Leitungen für die immer flüssigen Destillate können enger sein als die für die erstarrbaren, welche so weit gehalten werden müssen, daß ein rasches Durchfließen gesichert wird, aus welchem Grunde hier auch für genügenden Fall gesorgt sein muß. Wo die

Örtlichkeit dies nicht gestattet, muß man durch Druckpumpen oder Ansaugen mittels einer Luftpumpe nachhelfen. Die Vorlagen haben die verschiedensten Gestalten. Oft dienen als solche alte Dampfkessel.

Man treibt die Blase je nach dem Arbeitsziel verschieden weit ab. Handelt es sich darum, möglichst alle verwertbaren Bestandteile des Teers zu gewinnen, so wird bis zum Hartpech abgetrieben, denn das wertvolle Anthracen (s. S. 600) geht erst mit den hochsiedenden Anteilen über. Ebenso oder doch ähnlich verfährt man, wenn der Zweck der Destillation ist, das für die Brikettfabrikation nötige Hartpech zu liefern. Ist dagegen, was häufig zutrifft, die Teerdestillation Zubehör zu einer Dachpappenfabrik, so geht man nur bis zum Weichpech, d. h. die hochsiedenden Teerbestandteile werden in der Blase gelassen. Jedoch gibt es auch hier Fabriken, die bis zum Hartpech gehen, das Anthracen aus den hochsiedenden Destillaten gewinnen und dann die öligen, vom Anthracen getrennten, wertlosen destillierten Öle wieder dem Hartpech zusetzen. An Stelle dieser letzteren verwendet man auch, je nach den örtlichen Verhältnissen, Rückstände der Erdöldestillation oder die sehr billigen Schweröle der Holzteerdestillation (s. S. 499) als Beimischung, um das Hartpech wieder weich zu machen oder es gleich in den zur Dachpappenfabrikation nötigen Teer umzuwandeln. Fast jede Fabrik befolgt hier ihr eigenes Verfahren.

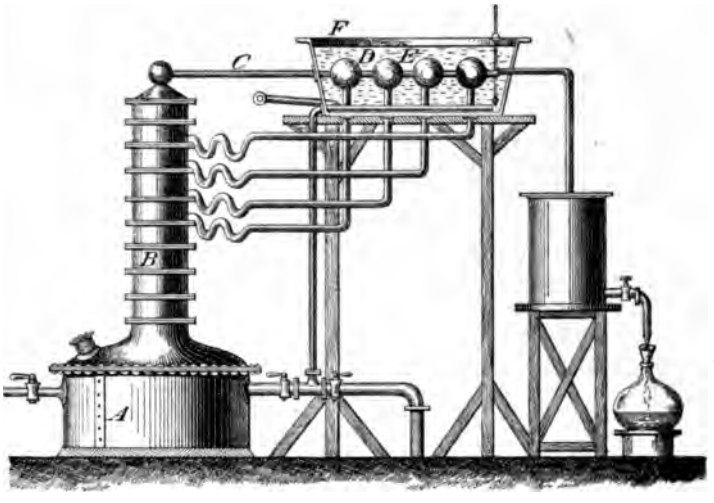
Destilliert man bis zum Weichpech, so kann man dieses ohne Umstände, solange es noch warm genug ist, in die Pechbehälter, meistens eine einfache ausgemauerte Grube ablassen. Hat man aber Hartpech in der Blase, so muß man die Räume, in die es fließen soll, zuerst von Luft entleeren, da es sonst sich bei seiner hohen Temperatur entzünden würde. Dies geschieht entweder durch Erzeugung von Luftleere, oder in der Regel mittels Durchblasens von Dampf. Dieses letztere ist auch deshalb empfehlenswerter, weil hierbei eine offene bei Verstopfungen leicht zugängliche Ablaufrinne benutzt werden kann, welche



649 Fabrikanlage für Teerdestillation. Durchschnitt 2.

man vor der jedesmaligen Benutzung mit Blechtafeln und Sand bedeckt, die man nachher leicht und rasch entfernen kann, wodurch man die Rinne bequem zu reinigen vermag.

Die Destillate werden wohl nie in der einen Fabrik genau wie in der anderen getrennt, jedoch werden sie wohl überall in Vorlauf, Leichtöl, Schweröl geschieden. Statt Schweröl wird auch wohl Rohöl und Schweröl dargestellt, wobei das Rohöl das rohe Naphtalin und Karbol, das Schweröl das Anthracen enthält. Natürlich sind die Trennungen nicht scharf. Man bringt daher das Rohöl auf die Rohölblase, wo es durch erneute Destillation wieder in Leichtöl, Karbolöl, Schweröl und Anthracenöl getrennt wird. Das Leichtöl sowohl der ersten als zweiten Destillation wird in der Leichtölblase behandelt. Man destilliert hier meist mit gespanntem Dampf und treibt mit ihm über, was übergehen will, indem man den Rest in die Rohölblase gibt, oder man destilliert auch das Zurückbleibende unmittelbar aus der Leichtölblase, indem man entweder Dampf durch die Blase leitet, welcher die schwerer destillierenden Anteile mechanisch mitreißt, oder indem man diese Blase auch auf eine Feuerung setzt und dann nach der Behandlung mit gespanntem Dampf wie gewöhnlich destilliert. Auf der Zeichnung ist eine Leichtölblase angegeben, welche alle drei Wege zu gehen erlaubt, jedoch ist zu bemerken, daß die Blase wohl überall nur für die eine oder andere Behandlungsweise eingerichtet ist.



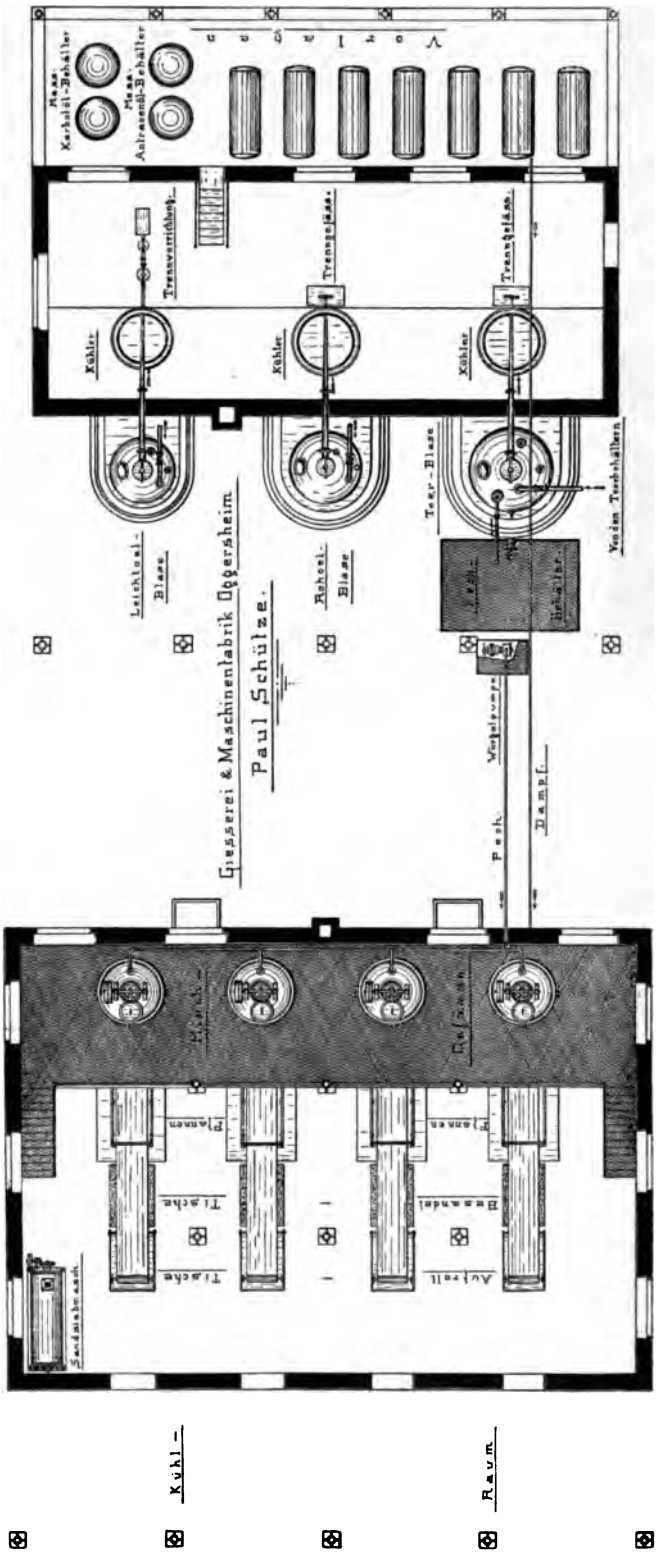
550. Kolonnenapparat zur Reinigung des Leichtöls.

Die an der Leichtölblase gezeichnete Trennvorrichtung ist eine vervollkommnete: Hinter der Krümmung des Auslaufsrohres ist oberhalb ein Dampfröhrchen, welches ein jeweiliges Ausblasen der ganzen Vorrichtung erlaubt. Unterhalb trennt sich die Leitung. Einerseits wird sie nur durch ein einfaches Rohr gebildet, welches zur Ableitung der Schweröle dient, auch bei Verstopfungen der Trennvorrichtung dienen kann; anderseits geht die Leitung durch ein Gefäß, das zum Abscheiden des Wassers eingeschaltet ist, seine Einrichtung beruht auf dem bei dem Trenngefäß von der Teerblase gekennzeichneten Grundsatz. Hinter diesem Wasserabscheider hat die Leitung wieder ein Abzweigrohr als Sicherheit, falls im weiteren Wege etwas in Unordnung geraten sollte. Sonst durchströmt das Destillat hinter dem Wasserscheider ein Gefäß, das so eingerichtet ist, daß die Flüssigkeit in ihm stets dieselbe Spiegelhöhe einhält. Zwei gegenüberliegende Fenster ermöglichen das Durchschauen und damit die Betrachtung der Flüssigkeit, sowie die Beobachtung eines darin spielenden Aräometers mit Thermometer. Aus diesem Schaugefäß (éprouvette) läuft das Destillat in ein Trenngefäß, welches so eingerichtet ist, daß das Destillat sich, ohne im Gefäß selbst einen wesentlichen Rückstand zu lassen, in die verschiedenen mit dem Trenngefäß verbundenen Vorlagen nach Bedarf und Zweck verteilen läßt.

Die weitere Reinigung der Rohprodukte erfolgt so, daß man, nachdem Leichtöl und Karbolöl nach längerem Stehen viel Naphtalin haben auskrystallisieren lassen, sie von diesem trennt und nun nochmals aus einer mit Thermometer versehenen Blase destilliert, wobei man das, was bis 230° übergeht, für sich auffängt. Man verarbeitet es zusammen mit dem Vorlauf. Die weitere Reinigung verlangt nunmehr die Anwendung von Chemikalien.

Die Karbolſäure und ihr ähnliche Stoffe führt man in ihre Natriumſalze über, indem man das Gemiſch gut mit wäſſriger Natronlauge durchrührt. Das karbolſaure Natrium u. ſ. w. löſt ſich im Waſſer, und das bald wieder obenauf ſchwimmende Öl iſt jetzt frei von dieſem. Es wird auch noch zweimal mit Schwefelſäure durchgearbeitet, die ebenfalls noch viele Verunreinigungen entfernt. Das ſo vorbereitete Öl wird alsdann nochmals deſtilliert und liefert drei Fraktionen: nämlich 90 prozentiges und 50 prozentiges Benzol ſowie Solvent Naphta.

Die Überführung dieſes in die reinen Kohlenwaſſerſtoffe geſchieht mit Hilfe von Kolonnenapparaten, von denen wir ſo manche ſchon im Buche (ſ. z. B. S. 504) kennen gelernt haben. Der für die Darſtellung von Benzol ſpeziell konſtruierte Apparat hat folgende Einrichtung. In der Blaſe A wird das Rohmaterial durch eine Dampfſchlange ins Sieden gebracht und ſteigt nun in der Kolonne B in die Höhe. Von dieſer aus ziehen die Gaſe durch C weiter nach den kugelförmigen Erweiterungen D E u. ſ. w. Dieſe liegen in einem Bade F, deſſen Temperatur, wenn Benzol dargeſtellt werden ſoll, auf 80°, dem Siedepunkte des Benzols, gehalten wird. Alles höher Siedende wird dann in der aus der Abbildung erſichtbaren Art nach der Kolonne zurückfließen, wäh-



551. Fabrikanlage für Teerdeſtillation, nebſt Dachpappenfabrikation. Grundriß.

rend nur das Benzol das Bad gasförmig zu passieren vermag und in den Kühler gelangt. Stellt man später den Siedepunkt des Bades auf 111° ein, man löst zu dem Zwecke Chlorcalcium im Wasser auf, so wird der nächste homologe Kohlenwasserstoff, das Toluol, überdestillieren.

C_6H_6 Benzol. $C_6H_5 \cdot CH_3$ Toluol.

Zur Gewinnung der Karbolsäure erhitzt man zuerst die wässerige Lösung des karbolsauren Natriums stark, um alle ihr noch anhängenden flüchtigen Öle auszutreiben, und säuert die Flüssigkeit sodann mit Schwefelsäure oder Natriumbisulfat (s. S. 444) oder Salzsäure an, welche die Karbolsäure wieder in Freiheit setzen. Ihre Reinigung erfolgt ebenfalls durch Destillation. Das Destillat, das außer ihr noch Kresole enthält, liefert beim Stehen Krystalle von Karbolsäure, die von ihrer Mutterlauge getrennt und nochmals destilliert werden.

Die Gewinnung des Naphtalins aus dem Schweröl, seinem Hauptausgangsmaterial, erfolgt so, daß, nachdem dieses bei längerem Stehen aus ihm auskrystallisiert ist, es durch Zentrifugieren von ihm möglichst befreit wird. Das flüssig Gebliebene bildet das Kreosotöl des Handels, das zum Holzimprägnieren u. s. w. dient. Zu seiner weiteren Reinigung wird das Naphtalin destilliert und sodann sublimiert, indem man seinen Dampf in große Kammern treten läßt, in denen es sich in Form jener weißen Blättchen (man könnte fast sagen schneeähnlich) niederschlägt, in denen wir das Naphtalin zu sehen gewöhnt sind.

Auch das Anthracenöl scheidet beim Stehen das in ihm gelöste Anthracen in Krystallen aus, die von ihrer Mutterlauge getrennt werden. Aber dieses Rohanthracen pflegt nur 25—30 % Anthracen zu enthalten, alles andere sind mitauskrystallisierte Fremdkörper, von denen es durch Umkrystallisieren aus Lösungsmitteln, als welche die allerverschiedenartigsten z. B. auch flüssige schweflige Säure vorgeschlagen sind, befreit wird.

Die Dachpappenfabrikation.

Auch die Abbildungen der für die Fabrikation benötigten Maschinen sowie die näheren Angaben über die Fabrikation selbst verdanken wir der Maschinenfabrik des Herrn Paul Schütze zu Oggersheim sowie Herrn Marx.

Für die Dachpappenfabrikation wird der Rückstand der Teerdestillation und zwar das Weichpech verwendet. Man macht aus ihm einen für das Bestreichen der Dachpappen geeigneten Teer, den man aber auch aus Hartpech (s. S. 597) herzustellen versteht. Der Dachpappenteer muß ein in der Wärme dünner Brei sein und darf keine zu leicht flüchtigen Bestandteile enthalten. Man destilliert diese daher ab, verkauft die verwertbaren Teile und macht das zurückbleibende Weichpech durch Zusatz der unverwertbaren Öle wieder dünnflüssig genug.

Es kann dieses in der Blase selbst geschehen, und man pumpt oder drückt dann den so präparierten Blaseninhalt gleich in die Dachpappenfabrik. Öfters aber läßt man das Weichpech noch heiß in die Pechgrube fließen, läßt es dort erkalten und schafft dann im Winter die Pechbrocken, im Sommer den Pechteig in die Dachpappenfabrik. Handlicher ist es aber, in den Pechbehälter ein Rohr mit gespanntem Dampf zu legen, das Pech nach Bedarf heiß zu machen und dann in die Mischgefäße der Dachpappenfabrik zu pumpen. Diese Mischgefäße sind Kessel, welche mit Rührwerk versehen sind und durch Feuer oder, wie auf der Zeichnung, durch Dampf erwärmt werden. In diesen Mischgefäßen erhält der Teer verschiedene Zusätze, die die Fabrikanten als Geheimnis zu bewahren trachten. Aus den Mischgefäßen läuft der Teer in die Pappenpfannen. Wo man langsamer arbeiten will, wird übrigens in der Pfanne selbst gemischt. Die Pfannen sind heizbar und vorn mit einer Untermauerung, um das Durchbrennen zu verhüten, versehen, welche zugleich eine möglichst gleichmäßige Wärmeverteilung in der Pfanne gewährleistet.

Die Pappe läuft durch die Pfanne nach einem Quetschwalzenpaar, bei dem der Grad der Quetschung durch Hebelbelastung oder Federdruck auf die obere Walze bestimmt wird. Einige Leitwalzen in der Pfanne halten die Pappe unter dem Teer. Ihre Bewegung geschieht durch das Drehen der einen Quetschwalze, die beide zusammen das Abstreifen des überschüssigen Teers bewirken. Die abgestreifte Pappe rollt über einen muldenartigen

Tisch mit Sand und wird auch an der Oberseite mit Sand bestreut. Zum Besanden sind jetzt auch mechanische Vorrichtungen konstruiert.

Die besandete Pappe wird sodann auf einem folgenden Tische aufgerollt, und die Rollen werden in einen Raum getragen, in dem man sie wiederum abrollt, um sie auskühlen zu lassen. Sie müssen jedoch vor dem völligen Auskühlen bereits nochmals endgültig aufgerollt werden. Zum Sieben des Sandes benutzt man am einfachsten einen schrägliegenden Cylinder aus Drahtgewebe. Will man mit ihm z. B. drei Körnungen erzielen, so besteht das obere Drittel des Cylinders aus halbgrobem Metallgewebe, das mittlere aus grobem und das untere aus ganz grobem Metallnetz.

Die Farben und die Farbstoffe.

Mit Farben und Farbstoffen bezeichnet man Substanzen, welche die Eigenschaft haben, mit ihnen in geeigneter Weise behandelten Gegenständen eine gefärbte Oberfläche zu erteilen, oder sie durch ihre ganze Masse hindurch zu färben.

Manche aber nicht sehr zahlreiche Farbstoffe liefert die Natur ohne weiteres, oder sie sind aus Naturprodukten leicht herstellbar, es sind das die Erdfarben, also anorganische Farben. Weit mehr Farben liefert schon das Pflanzenreich, und noch weit zahlreicher werden sie künstlich dargestellt. Die Zahl der künstlichen Farbstoffe ist, seitdem der Steinkohlenteer zu ihrer Herstellung herangezogen ist, ganz besonders vermehrt worden und noch immer im Wachsen begriffen. Im folgenden seien zunächst die wichtigsten anorganischen Farben besprochen.

Erd-, Metall- und Pflanzenfarben.

Als weiße Farben dienen Gips oder Schwerspat, weit mehr Verwendung finden aber Bleiweiß und Zinkweiß.

Gips ist doch chemisch schwefelsaurer Kalk, und Schwerspat ist schwefelsaurer Baryt. Beide finden sich als Mineralien, werden aber für Farbstoffe nicht durch Mahlen der Naturprodukte, sondern lieber künstlich hergestellt, so z. B. Gips durch Zusammengeben der Lösungen von schwefelsaurem Natron und Chlorcalcium.

$$Na_2SO_4 + CaCl_2 = CaSO_4 + 2NaCl$$
Schwefelsaures Natron + Chlorcalcium = Gips + Kochsalz.

und auf dem gleichen Wege kommt man zum schwefelsauren Baryt.

$$Na_2SO_4 + BaCl_2 = BaSO_4 + 2NaCl$$
Schwefelsaures Natron + Chlorbarium = schwefelsaurer Baryt + Kochsalz.

Der schwefelsaure Baryt (Schwerspat) zeichnet sich durch seine absolute Unlöslichkeit in Wasser und weiter dadurch aus, daß er unter allen Einflüssen, welchen gefärbte Flächen gewöhnlich ausgesetzt sind, unveränderlich ist, deswegen heißt er auch Permanentweiß.

In dieser Beziehung ist er dem Bleiweiß überlegen, welches zum Schwarzwerden neigt, aber hinsichtlich seiner Deckkraft ist er mit letzterem nicht zu vergleichen. Bleiweiß ist chemisch basisch kohlensaures Blei und uralt bekannt. Schon griechische Schriftsteller beschreiben seine Gewinnung aus Blei. Sein Schwarzwerden wird durch Schwefelwasserstoffgas veranlaßt, das mit ihm schwarzes Schwefelblei bildet. Dieses Gas entsteht beim Faulen organischer Stoffe, ist auch in der Kloakenluft enthalten, und so ist zu seinem spurenweisen Vorkommen in bewohnten Räumen ab und zu Gelegenheit geboten, die sich an mit Bleiweiß gestrichenen Gegenständen bei jeder erneuten Einwirkung in zunehmender Schwärzung geltend macht. Wir wollen hier auf die verschiedenen Methoden, nach denen es heutzutage gewonnen wird, nicht eingehen, sie würden mehr Raum einnehmen, als wir einem einzelnen Farbstoff widmen können. Sehr bemerkenswert ist, daß man sich trotz seiner Darstellung seit zweitausend Jahren über die beste Methode noch lange nicht einig ist, wie daraus hervorgeht, daß noch alljährlich Patente auf verbesserte oder neue Methoden seiner Darstellung genommen werden.

Das Zinkweiß, welches ebenfalls das Bleiweiß an Deckkraft nicht erreicht, ist Zinkoxyd. Es wird durch direktes Verbrennen des Zinks, wobei dieses mit dem Sauerstoff

der Luft sich zu Zinkoxyd verbindet, dargestellt. Da Schwefelzink nur ganz schwach gelb gefärbt ist, ist das Zinkweiß gegenüber Schwefelwasserstoff wenig empfindlich.

Als gelbe Farbe spielt das Chromgelb jetzt wohl die Hauptrolle. Es wird als unlöslicher, sehr schön gelber Niederschlag erhalten, wenn man eine Lösung von neutralem chromsauren Kali (s. S. 357) mit einer Lösung von essigsaurem Blei (Bleizucker) zusammenbringt.

$$K_2CrO_4 + Pb(C_2H_3O_2)_2 = PbCrO_4 + K_2(C_2H_3O_2)_2$$

Chromsaures Kali + essigsaures Blei = Chromgelb + essigsaures Kali.

Sehr viel teurer ist das Neapelgelb. Es besteht aus antimonsaurem Blei. Man erhält es durch Zusammenschmelzen von 4 Teilen Kochsalz mit 2 Teilen salpetersaurem Blei und 1 Teil Brechweinstein. Dieser letztere ist weinsaures Antimonoxydkalium und liefert in der hohen Temperatur die Antimonsäure. Die Schmelze, welche die drei Ingredienzien geben, wird nach dem Erkalten mit Wasser ausgelaugt, worauf das Neapelgelb hinterbleibt. Es ist ein vollkommen feuerbeständiges Gelb, und daher spielt es auch eine wichtige Rolle in der Porzellanmalerei, bei welcher doch die Gemälde in der hohen Temperatur der Schmelzöfen (s. Bd. V) aufgebrannt werden.

Als rote Farben dienen erstens das Chromrot. Dieses wird als unlöslicher Niederschlag erhalten, wenn man eine Lösung von rotem chromsauren Kali (s. S. 357) mit Bleizuckerlösung zusammenbringt. Zweitens dient als rote Farbe der Zinnober, das ist Schwefelquecksilber. Dies kommt in der Natur vor und ist nach der nötigen Feinmahlung als Farbstoff brauchbar, von weit besserer Deckkraft wird es aber auf dem Wege seiner künstlichen Darstellung erhalten. Zu dem Zwecke verreibt man Schwefel mit der berechneten Menge Quecksilber, die sich schon in der Kälte teilweise miteinander vereinigen. Hierauf sublimiert man die Masse, und das erhaltete Sublimat erscheint als eine dunkelrote strahlig krystallinische Masse, die nun feingemahlen wird. Je feiner das Mehl, von um so hellerer Farbe ist es. Weit billiger, aber auch weit weniger schön ist das Englischrot. Dies ist feingemahlenes Eisenoxyd, welches bei der Darstellung der rauchenden Schwefelsäure (s. S. 371) als Nebenprodukt gewonnen wird.

Das schönste anorganische Grün ist das Schweinfurter Grün, welches aber leider durch seinen Arsengehalt so sehr giftig ist. Deshalb nimmt seine Verwendung immer mehr ab, wenn es auch noch zu Tausenden von Zentnern dargestellt und namentlich viel nach China verkauft wird. Seine Bereitung haben wir bereits Seite 503 kennen gelernt. Als ungiftiges Grün dient das Chromoxyd, welches sich aber teurer stellt.

Unter dem Namen Berggrün findet kohlensaures Kupfer Verwendung, welches man durch Zugabe einer Lösung von kohlensaurem Natron zu einer Lösung von Kupfervitriol erhält. Auch ein Ultramaringrün gibt es. Weit wichtiger als dieses aber ist das Ultramarinblau, zu dem wir jetzt übergehen.

Unter dem Namen Lapis lazuli oder Lasurstein findet sich namentlich in China, Tibet und der Bucharei ein blaues, als Schmuckstein sehr geschätztes Mineral. Bei dem Mangel an anorganischen blauen Farben in der alten Zeit machte man dies Mineral durch Erhitzen mürbe, mahlte es und schlämmte es fein, um es als Farbe zu verwenden. Die Ausbeute an der blauen Farbe soll nur 2 % des Steins betragen haben, und ihr Preis war daher ein unglaublich hoher, etwa 7500 Mark das Kilogramm. Vielfache Untersuchungen des Steines hatten schließlich die Überzeugung gezeitigt, daß er aus ganz billigen Bestandteilen bestehe, die nur richtig behandelt zu werden brauchen, um das kostbare Produkt zu geben. Im Jahre 1824 setzte daraufhin die société d'encouragement zu Paris einen Preis von 6000 Frank auf die Lösung dieser Frage aus, den Guimet 1829 erhielt. Sein Verfahren ist merkwürdigerweise nie bekannt geworden. 1826 hatte aber der berühmte Heidelberger Professor der Chemie Gmelin ebenfalls bereits die Herstellung künstlichen Ultramarins im Laboratorium gelöst. Sehr seltsam ist die Weiterentwickelung der Laboratoriumserfolge zu einer Industrie, die dann gar nicht von Gmelin ausging. Engelhart, Professor der Chemie in Nürnberg, besorgte um diese Zeit die Übersetzung des damals weitverbreiteten Handbuches der angewandten Chemie des französischen

Chemikers Dumas ins Deutsche, und fand da eine Stelle, in der es heißt, man werde Ultramarin aus Kieselsäure, Thonerde und Schwefelnatrium darstellen können, wie das die oft zu beobachtende Blaufärbung der Ziegel, aus denen Sodaöfen gebaut werden, zeige. In diesen Öfen sind diese Materialien gegeben, wie wir wissen, indem Ziegel aus kieselsaurer Thonerde bestehen und in der Sodaschmelze (s. S. 392) doch Schwefelnatrium vorhanden ist. Er starb aber, während die Versuche, die er daraufhin unternahm, im Gange waren. Sein Assistent Leykauf setzte sie mit größtem Erfolge fort und trat in Verbindung mit einem Techniker Heyne, mit dem zusammen er dann die Farbe im großen fabrizierte. Jetzt beträgt die Jahresproduktion an Ultramarin jährlich sicher 200 000 Zentner.

Die Herstellung ist etwa die folgende. Mischungen z. B. von

Porzellanthon	100	100
wasserfreiem Glauberſalz . .	100	41
wasserfreier Soda	—	41
Kohle	17	17
Schwefel	—	13

die auf das innigste hergestellt sind, werden in Tiegeln sehr stark erhitzt. Die gesinterte Masse wird hierauf gepulvert, und alles Lösliche aus ihr mit Wasser ausgezogen. Nachdem das Material sodann aufs feinste gemahlen und getrocknet ist, ist es von grüner, nicht sehr schöner Farbe, die als grünes Ultramarin (siehe oben) im Handel ist.

Um es in blaues Ultramarin überzuführen, wird es meist in Cylindern, die mit einem Rührwerk versehen sind, so weit erhitzt, daß hineingeworfener Schwefel zu brennen anfängt, und man wirft so lange von diesem hinein, bis von Zeit zu Zeit herausgenommene Proben keine Zunahme der Intensität der blauen Färbung mehr zeigen. Solches blaues Ultramarin zeigte folgende Zusammensetzung:

	I	II
Kieselsäure	40,25 %	38,95 %
Thonerde	26,26 „	25,87 „
Schwefel	13,42 „	13,91 „
Natrium	19,89 „	21,27 „

Man kann auch Ultramarin nach etwas abweichenden Verfahren fabrizieren, die für uns kein besonderes Interesse bieten. Es ist die jetzt am meisten gebrauchte blaue Farbe und hat die ehemals gebrauchten blauen Kupferfarben, sowie Thénards Blau und die Smalte fast ganz verdrängt.

Thénards Blau wird so erhalten, daß man eine Alaunlösung mit der Lösung eines Kobaltoxydulsalzes mischt und sodann die Lösung durch Natriumkarbonat- und Natriumphosphatlösung fällt. Der Niederschlag, welcher Thonerde und Kobalt enthält, wird anhaltend geglüht und hernach fein gemahlen. Bei Tageslicht ist seine Farbe nicht viel vom Ultramarin verschieden, bei Abendlicht erscheint sie aber, wie die meisten Kobaltfarben, schmutzig violett, auch ist die Farbe weit teurer als das Ultramarin.

Auch der Smalte hat das Ultramarin unendlichen Abbruch gethan. Kobaltverbindungen aller Art, auch die rohen Kobalterze, haben die Eigenschaft, Glasflüsse, denen sie zugesetzt werden, blau zu färben. Die Fabrikation der Smalte ist daher die, daß man einen Glassatz schmilzt, dann Kobalt zugibt und das blaue Glas noch heiß in Wasser einträgt, um es zu zerteilen. Die erhaltenen Stücke werden hierauf möglichst fein gemahlen. Die sogenannten Blaufarbenwerke, so nannte man die Fabrikationsstätten der Smalte, bildeten einst einen wichtigen Industriezweig namentlich Sachsens, haben aber heute jede Bedeutung verloren.

Das Berliner Blau haben wir bereits Seite 347 kennen gelernt.

Zu braunen und schwarzen Farben dienen Manganfarben, Umbra, Ruß, Beinschwarz u. a. Die Manganfarben gewinnt man durch Glühen natürlich vorkommender Verbindungen dieses Metalles, namentlich in Mitteldeutschland. Es sind das die sogenannten Mulmen, pulverförmige in Eisenerzlagern sich findende Massen, die stark manganhaltig sind. Je nach der Temperatur, auf die man sie erhitzt, fallen die schließlich durch Mahlen und Schlämmen in feinster Mehlform aus ihnen erhaltenen Farben heller

oder dunkler aus. Man unterscheidet sie als Kastanienbraun, Manganſamtbraun, Rehbraun u. ſ. w.

Als ſchwarze Farbe dient vor allem der Ruß, und die Rußfabrikation iſt eine ausgedehnte Induſtrie. In alten Zeiten verbrannte man harzreiches Holz bei ungenügendem Luftzutritt, und die ſtark qualmende Flamme lieferte den Kienruß. Heute dienen die hochſiedenden Öle, die bei der Teerdeſtillation (ſ. S. 597) abfallen und für die es ſonſt keine Verwendung gibt, zu ſeiner Fabrikation, man brennt ſie zumeiſt in Lampen, die eine möglichſt qualmende alſo rußreiche Flamme liefern. Ein weit feineres Produkt noch iſt der Gasruß, das ſogenannte Diamantſchwarz. Zuerſt ſtellte man es in Amerika durch unvollſtändiges, d. h. alſo wiederum mit möglichſt qualmender Flamme vor ſich gehendes Verbrennen von Gas, das in den Petroleumdiſtrikten (ſ. S. 632) dem Erdboden entſtrömt und aufgefangen wird, dar. Heute findet ſeine Gewinnung auch in Europa ſtatt, indem man die faſt wertloſen Rückſtände der Petroleumdeſtillationen oder Paraffinraffinerien in glühende Retorten fließen läßt, alſo mit ihnen wie für die Fettgasfabrikation (ſ. S. 587) verfährt. Das entſtandene Gas wird nach dem Abkühlen ohne weiteres in geeigneten Brennern für die Diamantſchwarzfabrikation verbrannt.

Das Beinſchwarz iſt Knochenkohle, welche möglichſt fein gemahlen iſt.

Schließlich haben wir noch die Metallfarben zu erwähnen. Sie werden ſo dargeſtellt, daß man Metalle außerordentlich dünn ſchlägt, und die dünnen Häutchen ſodann auf Steinen fein reibt. So kann man Gold und Silber, aber auch Legierungen aller Art, wie die Bronze z. B., behandeln. Erhitzt man dieſe Metallpulver etwas an der Luft, ſo daß ihre Oxydation beginnt, ſo veranlaßt dieſe ein ganz merkwürdiges z. B. violettes Ausſehen des anderſeits durchaus metalliſch glänzenden Pulvers.

Die wichtigſten dem Pflanzenreich entſtammenden Farbſtoffe findet man entweder bereits fertig gebildet in den Pflanzen vor, oder ſie entſtehen aus den in ihnen enthaltenen Stoffen durch Gärungs- oder Oxydationsprozeſſe, aber die Tage der meiſten von ihnen ſind nunmehr gezählt, indem die aus Teer gewonnenen Farben ſie immer mehr verdrängen. Völlig verdrängt ſind bereits der Krapp, der Safran, die Orſeille, die Curcuma und die Kochenille, auf die wir hier deshalb nicht mehr eingehen wollen.

Dagegen wird zur Zeit noch ziemlich viel das Blauholz verwendet. Es iſt das Holz eines amerikaniſchen Baumes, Haematoxylon campechianum, welches in großen, von der Rinde befreiten Stücken in den Handel kommt. Zieht man das Holz mit heißem Waſſer aus, ſo erhält man eine braunrote Flüſſigkeit, die unter dem oxydierenden Einfluſſe der Luft immer dunkler wird. Daher kann man mit Blauholz ſehr verſchiedene Farben erzeugen, je nachdem man abſichtlich mehr oder weniger kräftig oxydiert. Nimmt man ein ſo kräftiges Oxydationsmittel zu Hilfe, wie es die Chromſäure iſt, ſo erhält man geradezu ſchwarze Farbſtoffe, und daraus erklärt ſich die Verwendung des Blauholzes in der Schwarzfärberei, ſowie in der Tintenfabrikation.

Um an Transportkoſten zu ſparen, ſtellt man auch aus dem Holze in Hafenorten Extrakte dar, die man in ſtark eingedampftem Zuſtande verkauft. Das Eindampfen muß aber im möglichſt luftverdünnten Raume, wie es in der Zuckerinduſtrie (ſ. Bd. IV, S. 526 f.) ausführlich beſchrieben iſt, erfolgen, weil ſonſt die Güte der Farbſtoffe leidet. Man ſetzt es in manchen Fabriken ſo lange fort, daß der Rückſtand hernach beim Erkalten geradezu erſtarrt. Das flüſſige Extrakt iſt faſt ſchwarz und führt den Namen Kampeſchekarmin, während das feſte ſpröde, glänzende, pechähnliche ſchwarze Stücke bildet.

Das Rotholz oder Pernambukholz iſt das Holz mehrerer in Oſtindien, Südamerika und den Antillen vorkommender, wildwachſender Cäſalpinien, welches ebenfalls in Blöcken in den Handel kommt. Mit heißem Waſſer liefert es gelbrote, allmählich dunkler werdende Flüſſigkeiten, was wiederum die Folge einer Oxydation iſt. Wenn man auch mit Rotholz ſehr ſchöne Farben erzeugen kann, ſo ſind dieſelben nicht ſehr echt. Und ſo waren denn im Jahre 1897 die Preiſe für dieſe Farbhölzer auch ſchon ſo herunter, daß ihr Transport nach Europa kaum mehr lohnend ſein kann, und trotzdem waren die Vorräte an Blauholz nie ſo groß wie in dieſem Jahre, wonach auch ſie in nicht zu ferner Zeit durch Teerfarben verdrängt ſein werden.

Die Gesamteinfuhr an verschiedenen Farbhölzern ins Deutsche Reich betrug im Jahre 1896 51085 t, die Wiederausfuhr 10760 t, an Extrakten wurden importiert 4946 t, exportiert 1099 t.

Zur Herstellung von Gelb dient das Quercitron, welches die gemahlene, von der Oberhaut befreite Rinde der in Nordamerika wild wachsenden Eiche, Quercus nigra, ist, die jetzt auch im südlichen Deutschland und Frankreich kultiviert wird. Im Jahre 1896 wurden von ihr ins Deutsche Reich 727500 kg eingeführt.

Nun wollen wir weiter den Indigo erwähnen. Auch die Tage dieses Naturproduktes hält Verfasser für gezählt, auch er wird aus Teerprodukten billig genug hergestellt werden, während, bis dies der Fall sein wird, blaue Teerfarbstoffe, die ihm an Schönheit nicht nachstehen, ihm bis dahin schon viel Terrain abgewonnen haben werden. Der Indigo ist seit den ältesten Zeiten zum Blaufärben benutzt worden. Er wird in Indien auf folgende Art gewonnen. Die zerschnittenen Blätter und Zweige der Indigoferaarten werden mit Wasser übergossen und einige Zeit stehen gelassen. Sodann wird die Flüssigkeit in flachen Gefäßen vielfach umgerührt, um sie möglichst mit Luft in Berührung zu bringen. Der sich durch Oxydation in der Flüssigkeit bildende Indigo setzt sich beim Stehen auf dem Boden ab und bildet nach dem Trocknen den Indigo des Handels.

Die Teerfarbstoffe.

In der Einleitung haben wir bereits das für das bisher Besprochene Notwendigste über die Elemente, ihre Verbindungsfähigkeit u. s. w. gehört. Alle anderen Elemente übertrifft an Verbindungsfähigkeit der Kohlenstoff, der der wahre Proteus unter ihnen ist. Da steckt der schwarze Mann in der Kohlensäure, einem durchsichtigen Gase, bildet als kohlensaurer Kalk z. B. ganze Gebirgszüge und ist ein Bestandteil der toten Natur, dort liegt er massenhaft als Steinkohle unter der Erde als Überrest einer einst belebten Welt, und sein drittes, wichtigstes Vorkommen ist das in uns selbst, in allen Lebewesen. Er allein hat unter allen irdischen Elementen die nötige Verbindungsfähigkeit, vermittelst welcher die Erschaffung von Pflanzen und Tieren möglich ist.

Da man nun seit langem durch Analyse festgestellt hatte, daß es nichts Lebendes gibt, das nicht auch Kohlenstoff enthält, so führt die Chemie des Kohlenstoffs bei den Chemikern auch den Namen organische Chemie, im Gegensatz zur anorganischen Chemie, welche alle übrigen Elemente in den Kreis ihrer Betrachtung zieht. Dies hat nun im Laufe der Jahre dahin geführt, daß in die organische Chemie auch der kohlensaure Kalk z. B. gehört, eine Gebirge bildende Substanz, die wir doch als anorganisch anzusehen gewöhnt sind. Anderseits kann man diesen doch nicht zusammenbringen wollen z. B. mit dem Eiweiß, welches die Lebensfunktionen der Pflanzen und Tiere bedingt. So handelt man denn solche Stoffe, in denen wir die direkten Träger des Lebens sehen, in der „Chemie der organisierten Stoffe“ ab.

Da der Teer, und es handelt sich für uns im folgenden stets um den Steinkohlenteer, nachdem wir den Holzkohlenteer S. 504 bereits ausführlich kennen gelernt haben, den Steinkohlen entstammt, enthalten alle seine Bestandteile Kohlenstoff, gehören zur organischen Chemie, und aus demselben Grunde fallen die aus ihm herstellbaren Derivate, also z. B. die Teerfarbstoffe, in das Gebiet dieses Teiles der Chemie.

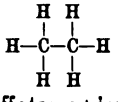
Wie aus dem Mitgeteilten hervorgeht, muß die Anzahl der Kohlenstoffverbindungen eine ganz ungeheuere sein, und so ist es in der That. Kekulés Scharfsinn (s. S. 312 und 316) genügte aber, um in dieses Gebiet eine Ordnung hineinzubringen, wie sie klarer und übersichtlicher wohl nicht mehr erwartet werden kann.

Wenn man z. B. die Verbindung zwischen Wasserstoff und Chlor betrachtet, so findet man, daß es nach keiner Methode möglich ist, mehr als den einen Chlorwasserstoff herzustellen. Das Produkt reagiert sauer, und die Lösung dieser Chlorwasserstoffsäure in Wasser ist, wie wir wissen, das, was wir im Leben Salzsäure nennen. Wenn es nun nur eine Verbindung zwischen diesen beiden Elementen gibt, was liegt da näher als die Annahme, in dieser Verbindung kommt ein Atom Wasserstoff auf ein Atom Chlor, oder,

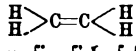
wie wir das auch anders ausdrücken können, Chlor und Wasserstoff sind einwertige Elemente, die ihre Verbindungskraft gegenseitig auffättigen. Wenn nun weiter gefunden wird, daß im Wasser, welches doch aus Wasserstoff und Sauerstoff besteht, ein Atom Sauerstoff zwei Atome Wasserstoff festhält, seine so bekannte Formel ist doch H_2O, so werden wir sagen können, der Sauerstoff ist zweiwertig, er kann ja 2 H festhalten, der Stickstoff zeigt sich im gleichen Sinne dreiwertig; es sei an das Ammoniak, NH_3, erinnert. So weit war man in den fünfziger Jahren gekommen; in die anorganischen Verbindungen hatte man bereits, indem sich hierauf ihr ganzes System aufbauen läßt, Ordnung gebracht, aber die Unsumme der organischen Verbindungen schien jeder derartigen Anordnung spotten zu wollen. Da bewies denn Kekulé 1857, auch für die Kohlenstoffverbindungen gilt dieses Gesetz der Wertigkeiten. Der Kohlenstoff ist vierwertig. Alle seine Verbindungen lassen sich auf eine seiner Verbindungen mit Wasserstoff zurückführen, welche aus einem Kohlenstoffatom und vier Wasserstoffatomen besteht, deren Formel also CH_4 ist.

Wie meist, wenn man den Zusammenhang der Dinge kennt, sie verhältnismäßig einfach erscheinen, so liegt es damit auch hier. Gäbe es nur den einen Kohlenwasserstoff CH_4, so wäre der Analogieschluß auf den Chlorwasserstoff ClH, auf das Wasser OH_2, auf das Ammoniak NH_3 sehr naheliegend gewesen, aber nicht etwa einen einzigen oder viele Kohlenwasserstoffe gibt es, nein, ihre Anzahl ist, man kann sagen fast unbegrenzt, also schon diese verhältnismäßig einfachen Verbindungen des Kohlenstoffs sind unzählig, wie nun erst, wenn noch weitere Elemente in die Substanzen mit eintreten.

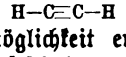
Jedoch auch alle diese weiteren Verbindungen des Kohlenstoffs lassen sich übersichtlich ordnen, wenn man nach Kekulé den Kohlenwasserstoff CH_4 zur Grundlage des Ganzen macht. Es kommt nämlich noch hinzu, daß in den Verbindungen sich die Kohlenstoffatome untereinander festzuhalten vermögen. Halten sich zwei Kohlenstoffatome fest, so bedürfen sie dazu gegenseitig einer Bindung untereinander, je drei weitere an ihnen bleiben noch disponibel z. B. für Wasserstoff, das ergibt somit den Kohlenwasserstoff C_2H_6 oder ausführlich geschrieben:



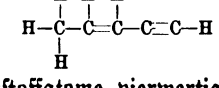
Wir sehen, auch hier sind die Kohlenstoffatome vierwertig, die Wasserstoffatome einwertig. Weiter kommt hinzu, daß die Kohlenstoffatome sich auch mit zwei Bindungen gegenseitig festhalten können, das führt zu einem Kohlenwasserstoff C_2H_4



ja auch mit drei Bindungen vermögen sie sich festzuhalten, und der unter diesen Bedingungen einfachste Kohlenwasserstoff ist C_2H_2.



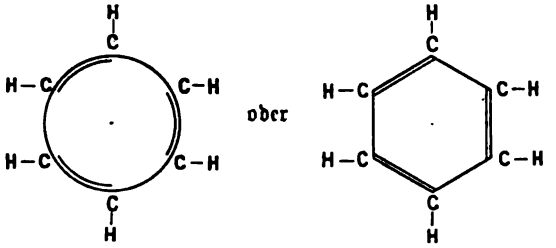
Damit ist diese Art der Bindungsmöglichkeit erschöpft. Weil nun Kohlenstoffatome sich in beliebiger Anzahl untereinander festhalten, und in einer Verbindung nebeneinander einwertig, zwei- und dreiwertig gebundene Kohlenstoffatome vorkommen können, ist allein schon die Zahl der Kohlenwasserstoffe eine so große. So ist im Kohlenwasserstoff Valylen C_5H_6 die Bindung folgende:



Auch hier sehen wir alle Kohlenstoffatome vierwertig, obgleich das der Summenformel C_5H_6 nach kaum möglich zu sein scheint. Die Konstitution d. h. die Aneinanderlagerung der Atome in einem solchen Körper kann auf sehr verschiedene Art ermittelt sein, häufig folgt sie, wie das auch bei unserem Beispiel der Fall gewesen ist, aus der Art seiner Darstellung, indem die zwei Hälften, aus denen man ihn auf chemischem Wege zusammengeschweißt hat, hinsichtlich ihrer Konstitution, die natürlich je kürzer die Kohlenstoffkette um so leichter zu erforschen ist, bereits bekannt waren.

Noch schwieriger war es natürlich, wenn im Untersuchungsobjekt noch weniger Wasserstoffatome auf die Kohlenstoffatome kommen, dieses mit der Vierwertigkeit des Kohlenstoffatoms in Einklang zu bringen, und damit sind wir wieder beim Steinkohlenteer angelangt. Das leichtflüchtigste Destillat, das man aus ihm erhält, ist doch das Benzol, und dessen Formel ist, wie sich aus seiner Analyse ergibt, C_6H_6. Wie viel Mühe man sich gegeben hat, diese Verbindung in Einklang mit der Vierwertigkeit des Kohlenstoffatoms zu bringen, gehört heute schon der Geschichte an, aber wenn man die unglaublich verrenkten — ein anderer Ausdruck gibt ihr Aussehen kaum wieder — Formeln sieht, die diesem Kohlenwasserstoff von einzelnen Forschern als Schema zu Grunde gelegt wurden, so muß man um so mehr Kekulé bewundern, der die Konstitution auch dieses Kohlenwasserstoffs im Jahre 1866 in genialster Weise aufklärte. Von dem Tage der Veröffentlichung seiner Idee an war es erst möglich, mit den Teerkohlenwasserstoffen ordentlich zu arbeiten. Mit seiner Idee ist die Grundlage zur ganzen Anilinfarbenindustrie, zur Herstellung der künstlichen Heilmittel, zur Herstellung der künstlichen Wohlgerüche — die Konstitution des Irons der Veilchen haben wir schon S. 576 mitgeteilt — gegeben, und danach kann man die Hochachtung ermessen, die diesem im Jahre 1896 verstorbenen Forscher von seinen Fachgenossen, das große Publikum konnte ja seine Leistungen nicht verstehen, entgegengebracht worden ist. Neidlos wurde seine Idee als der Leitstern der ganzen „Benzolchemie" anerkannt, und vollbewußt sind sich alle die, welche in praktischer Ausnutzung und glänzendster Weiterführung seiner Ideen ungezählte Millionen geschaffen haben, daß die Grundlage alles dessen Kekulés Benzolkern ist.

Und worin besteht Kekulés Leistung? An seine Vorstellung von der Vierwertigkeit des Kohlenstoffatoms reihte er 1866 die Vorstellung von der ringförmigen Bindung der Kohlenstoffketten, namentlich 6 Kohlenstoffatome sollten zu dieser Bindung neigen. Unter dieser Voraussetzung wird dann das Benzolschema wie nebenstehend, wie wir schon S. 317 mitteilten.



552. Schema des Kohlenwasserstoffes Benzol. C_6H_6.

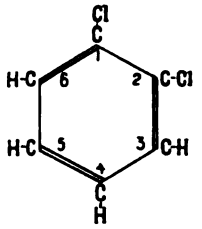
Die 6 Kohlenstoffatome sind untereinander abwechselnd je einfach und doppelt gebunden, und an jedem Kohlenstoffatom sitzt ein Wasserstoffatom. Weil es nun unbequem ist, immer kreisförmige Figuren zu zeichnen, hat er sie durch ein reguläres Sechseck ersetzt, in welchem wir, wenn wir diese Art der Bindung der Kohlenstoffatome und Wasserstoffatome hineinzeichnen, die Vierwertigkeit jedes einzelnen Kohlenstoffatoms erkennen.

Der ganze weitere Ausbau der organischen Chemie beruht nun darauf, daß an Stelle alles Einwertigen jedes beliebige andere Einwertige treten kann, also z. B. an Stelle von Wasserstoff Chlor, so ist Benzol C_6H_6, Chlorbenzol C_6H_5Cl. Aber ist denn nicht auch z. B. CH_3 einwertig, es ist doch CH_4 minus ein H, folglich muß dieser Rest an Stelle alles Einwertigen treten können, wie wir schon in der Formel $CH_3 — CH_3$ gesehen haben. Da man CH_4 Methan nennt, heißt er Methyl, und so ist Methylbenzol $C_6H_5 — CH_3$. Tritt Sauerstoff in eine Verbindung ein, so geht er an die Stelle von zwei Wasserstoffatomen, weil er zweiwertig ist, und so geht dann z. B. das Methan CH_4 über in CH_2O, welcher Körper Formaldehyd heißt und heute nach Tausenden von Kilogrammen produziert wird.

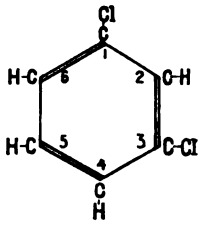
Mit unserem Benzol gestaltet sich die Sache namentlich merkwürdig, wenn zwei H in ihm durch zwei einwertige Atome oder einwertige Reste vertreten werden, nehmen wir z. B. an durch Chlor. Wir wollen der Einfachheit halber hier die sich dann ergebenden Möglichkeiten an den Formeln (Abb. 248—250) selbst in Augenschein nehmen.

Wir haben diesmal die Kohlenstoffatome mit Nummern bezeichnet, und da sehen wir, daß es 3 Bichlorbenzole, alle 3 Körper von der gleichen Formel $C_6H_4Cl_2$, also alle drei aus 6 Kohlenstoffatomen, 4 Wasserstoffatomen und 2 Chloratomen bestehend, gibt, ja geben muß, aber nicht mehr. Auch dieses hat Kekulé sogleich erkannt, und gerade dieses Ver-

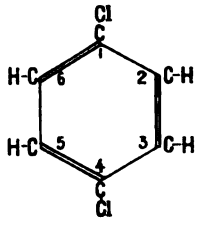
halten der Biderivate des Benzols bildet mit eine Hauptstütze seiner Theorie. Man hat für diese Biderivate bestimmte Namen eingeführt, die uns im folgenden öfter begegnen werden. Ein 1,2 Biderivat heißt Orthoderivat, 1,3 Metaderivat, 1,4 Paraderivat. Wir haben also Orthobichlorbenzol, Metabichlorbenzol, Parabichlorbenzol aufgezeichnet.



553. Orthobichlorbenzol.

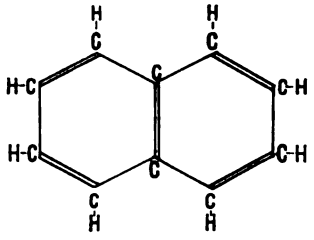


554. Metabichlorbenzol.

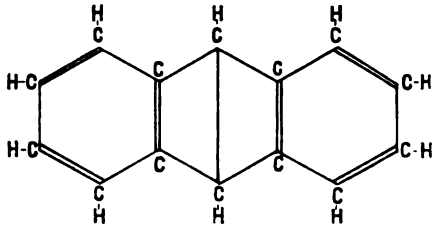


555. Parabichlorbenzol.

Solche Benzolringe können sich nun ihrerseits auch direkt aneinander lagern und zu Doppelringen, Dreiringen u. s. w. vereinigen, das führt dann zu folgenden Konstitutionsformeln.



556. Naphtalin.



557. Anthracen.

Man glaube nur ja nicht, wozu der Laie leicht neigen wird, daß die Formeln, die, wie die Unterschriften zeigen, das Naphtalin und das Anthracen repräsentieren, Phantasiegebilde sind, ganz im Gegenteil, es gibt in der ganzen Chemie schwerlich etwas besser Bewiesenes, als diese Konstitutionsformeln. Das Naphtalin ist das uns allen bekannte Mottenvertilgungsmittel, und das Anthracen ist das Ausgangsmaterial zur Herstellung des künstlichen Krapprots, seine richtige Verwendung hat also weite Länderstrecken, die ebenfalls dem Anbau der Krapppflanze dienten, wieder der Getreideproduktion zurückgewonnen.

Das Anilin und die wichtigsten sonstigen Zwischenstufen der Teerfarbenfabrikation.

Im Publikum heißen die Teerfarben heute noch meist Anilinfarben, obgleich dieser Name jetzt lange nicht mehr für sie ausreicht. Das Anilin wird aus dem Nitrobenzol hergestellt, welches, wie wir auf S. 575 erfuhren, auch als billiger Ersatz für echtes Bittermandelöl dient, und dessen Gewinnung wir nunmehr kennen lernen müssen.

Von Nitrogruppen hörten wir schon vieles im Verlaufe der Beschreibung der Fabrikation der rauchschwachen Pulver. Sie wurden doch den in Explosionsstoffe überzuführenden Körpern auf dem Wege einverleibt, daß man diese mit Salpetersäure behandelte, und auf gleichem Wege verwandelt man das Benzol ins Nitrobenzol, indem hier eine Nitrogruppe, ein NO_2, an die Stelle eines Wasserstoffatoms tritt. 100 kg Benzol, also das Ausgangsmaterial für die Herstellung des Anilins, kosteten Anfang 1897 160 Mark, während ein Jahr früher ihr Preis noch 70 Mark gewesen war.

$$C_6H_6 + HNO_3 = C_6H_5 \cdot NO_2 + H_2O$$
Benzol + Salpetersäure = Nitrobenzol + Wasser.

Zur Ausführung des Verfahrens ist eine sehr starke Salpetersäure nötig, die reichlich vorhanden sein muß, zumal das sich bei der Reaktion bildende Wasser sie während des Prozesses verdünnt. Man wendet deshalb seit langem lieber ein Gemisch von konzentrierter Salpetersäure und konzentrierter Schwefelsäure an (s. S. 464).

Ist die Einwirkung der Ingredienzien beendet, so setzt sich die Schwefelsäure zu Boden, und das über ihr stehende Nitrobenzol läßt man abfließen. Nachdem es durch öfteres Waschen mit Wasser, das man nach jedesmaligem Durcharbeiten sich wieder absetzen läßt, gereinigt ist, destilliert man es mit Wasserdampf, treibt es also in ähnlicher Weise, wie wir es bei den ätherischen Ölen kennen lernten, über. Die Ausbeute ist so gut wie quantitativ, aus 100 Teilen Benzol erhält man 152—155 Teile Nitrobenzol.

Zinin, Professor in Petersburg, gab im Jahre 1842 bekannt, es sei ihm gelungen, die Sauerstoffatome aus dem Nitrobenzol herauszunehmen und durch Wasserstoffatome zu ersetzen, wodurch das Nitrobenzol in einen alkalischen Körper übergehe. Dies erregte in den wissenschaftlichen Kreisen der damaligen Zeit das größte Aufsehen, weil auf diesem Wege die ersten basischen stickstoffhaltigen Körper im Laboratorium erhalten worden sind. Sogleich knüpfte man die Hoffnung daran, es werde nun auch gelingen, die komplizierten alkalischen Körper, welche sich in Pflanzen finden, die Alkoloide benannt werden und, wie das Chinin, das Strychnin u. s. w., so merkwürdige Wirkungen auf den tierischen also auch menschlichen Körper zeigen, künstlich zu erzeugen. Die Hoffnung war aber sehr verfrüht, und ist auch heute erst teilweise in Erfüllung gegangen. Doch der Anstoß zu neuen Forschungen, den die Zininsche Entdeckung gab, war ungeheuer.

Man erhält das Anilin, wie der Zininsche Körper jetzt heißt, aus dem Nitrobenzol durch Reduktion, also durch Einwirkung von Wasserstoff auf ihn.

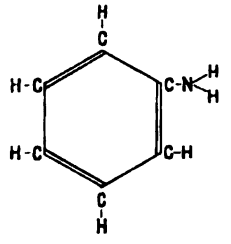
$$\underset{\text{Nitrobenzol}}{C_6H_5NO_2} + \underset{\text{Wasserstoff}}{6H} = \underset{\text{Anilin}}{C_6H_5NH_2} + \underset{\text{Wasser}}{2H_2O}.$$

Wasserstoff kann man auf sehr verschiedene Weise entwickeln, und so benutzt die Technik als billigste, an Säure ganz besonders sparsame Methode die, daß sie Nitrobenzol mit Salzsäure und Eisenfeilspänen,

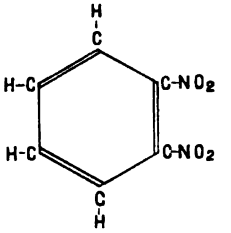
$$\underset{\text{Eisen}}{Fe} + \underset{\text{Salzsäure}}{2HCl} = \underset{\text{Eisenchlorür}}{FeCl_2} + \underset{\text{Wasserstoff}}{2H}$$

welche beiden letzteren nach vorstehender Gleichung Wasserstoff entwickeln, durchrührt. Ist alles Nitrobenzol zu Anilin reduziert, so ist dieses, weil es ein Alkali ist, in der Lösung als salzsaures Anilin vorhanden. Um es als solches zu erhalten, wird die Lösung durch Kalk alkalisch gemacht, und nun kann es mit Wasserdampf abdestilliert werden. Aus dem Destillat scheidet sich das Anilin als gelbes, am Boden liegendes Öl ab. Man erhält aus 100 Teilen Nitrobenzol etwa 67 Teile Anilin an Stelle der theoretisch möglichen 75,5 Teile.

Die Konstitutionsformel des Anilins ist die in Abb. 558 dargestellte.

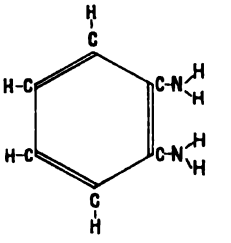


558. Anilin.



559. Orthodinitrobenzol.

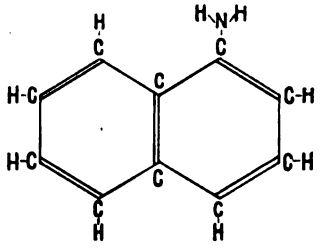
welches reduziert liefert



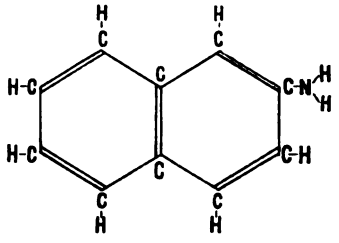
560. Orthophenylendiamin.

Nun kann man natürlich auch mehrere Wasserstoffatome des Benzols durch die Nitrogruppe ersetzen, das führt dann z. B. zu (s. die in Abb. 559 u. 560 dargestellten Formeln) Dinitrobenzol, welches, wie wir wissen, als Ortho-, Meta- und Paraverbindung existieren muß, und reduzieren wir deren Nitrogruppen, so erhalten wir drei neue, dem Anilin ähnliche Körper. Nun nennt man den einwertigen Benzolrest C_6H_5 Phenyl, den zweiwertigen C_6H_4 Phenylen und die Gruppe NH_2, welche, wenn wir es uns überlegen, der einwertige Rest des Ammoniaks NH_3 ist, Amin. So heißt denn Anilin, das seinen Namen von añil her hat, welches die spanische Bezeichnung für Indigo ist, in der rein wissenschaftlichen Nomenklatur Phenylamin, und die aus Dinitrobenzol erhaltenen reduzierten Körper heißen Phenylendiamine.

Ist Anilin Mutterſubſtanz vieler Farbſtoffe, ſo werden, wie wir jetzt verſtehen, die Phenylendiamine es erſt recht ſein. Ja, wenn wir weiter die Amidogruppe ins Naphtalin auf die gleiche Art einführen, indem wir dieſes alſo nitrieren, und hernach die Nitrogruppe reduzieren, ſo werden wir die Aniline des Naphtalins, wenn der Ausdruck geſtattet iſt, erhalten, denn ſchon die Einführung eines Reſtes führt beim Naphtalin zu zwei Körpern, zu zwei Naphtylaminen, je nachdem er neben die Bindung der beiden Ringe, oder ihr gegenüber ein Waſſerſtoffatom vertritt, ſie werden als α und β Verbindungen unterſchieden, und ihre Schemata ſind folgende:

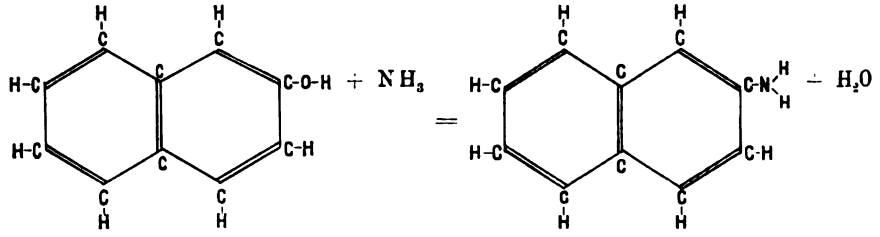


561. α-Naphtylamin.



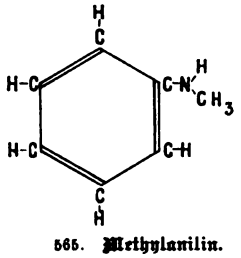
562. β-Naphtylamin.

Natürlich kann man auch ins Naphtalin mehrere Amidogruppen einführen. Dazu kommt noch folgendes. Es iſt nicht ſchwer, ins Naphtalin an die Stelle eines Waſſerſtoffatomes den Reſt des Waſſers OH zu bringen, z. B. β-Oxynaphtalin herzuſtellen. Behandelt man dies mit Ammoniak, ſo bekommt man β-Naphtylamin weit billiger, als auf dem eben angegebenen Wege.

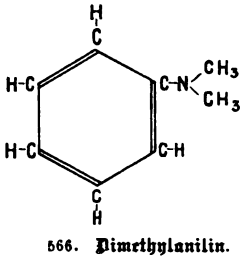


563. β-Oxynaphtalin + Ammoniak = 564. β-Naphtylamin + Waſſer.

Beim Einring, alſo beim Benzol, iſt dieſe einfachere Methode nicht verwendbar, weil Ammoniak auf Oxybenzol nicht zur genügenden Einwirkung zu bringen iſt, trotzdem an der Löſung dieſes Problems, wie leicht denkbar, unendlich viel gearbeitet worden iſt. Wir haben hier ein Beiſpiel, wie ein Einring ſich vom Zweiring verſchieden verhält, kurzum, eine Art Vorgeſchmack des endloſen Studiums, das die ringförmigen Körper erfordern. Mit ſo einfachen Verbindungen, wie denen, mit welchen wir es hier zu thun haben, iſt man, was das Techniſche betrifft, ſo gut wie fertig, die Methoden zu ihrer Herſtellung ſind meiſt unübertrefflich ausgearbeitet, aber je komplizierter die Verhältniſſe werden, um ſo größer wird die Möglichkeit weiterer Forſchungen und im Anſchluß daran techniſcher Verbeſſerungen.



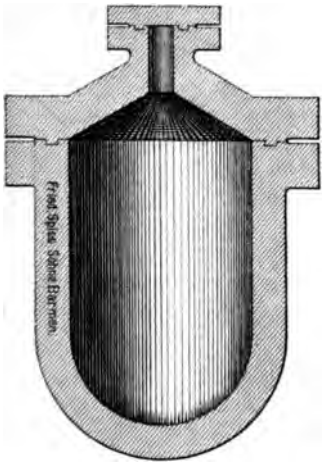
565. Methylanilin.



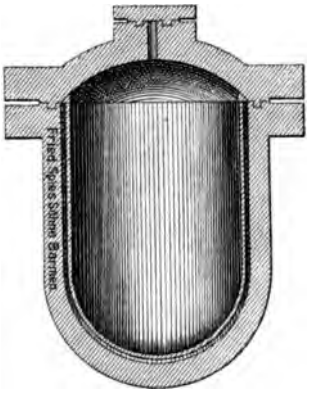
566. Dimethylanilin.

Wir wollen jetzt zu zwei weiteren, ſehr wichtigen Zwiſchenprodukten der Farbenfabrikation übergehen, zum Methyl- und zum Dimethylanilin. Methyl iſt doch der einwertige Reſt CH_3, und dieſer läßt ſich ſtets unſchwer an die Stelle von Waſſerſtoffatomen, die am Stickſtoff ſitzen — und ſolche Waſſerſtoffatome ſind doch im Anilin vorhanden — bringen. Das führt zu den in Abb. 565 u. 566 dargeſtellten Konſtitutionsformeln dieſer beiden Körper.

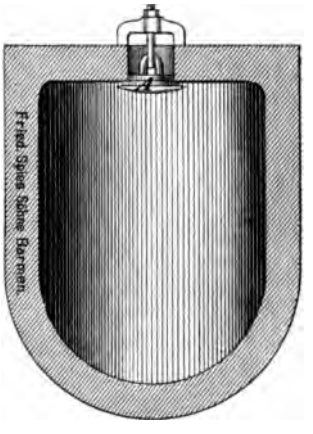
Die Herstellung dieser Körper ist nur noch unter gewaltigem Druck zu erzwingen, indem nur bei diesem die in Reaktion zu bringenden Ausgangsmaterialien ihrer Darstellung aufeinander einwirken. Dies geht nicht nur mit ihnen, sondern mit sehr vielen Substanzen



567. Autoklav.

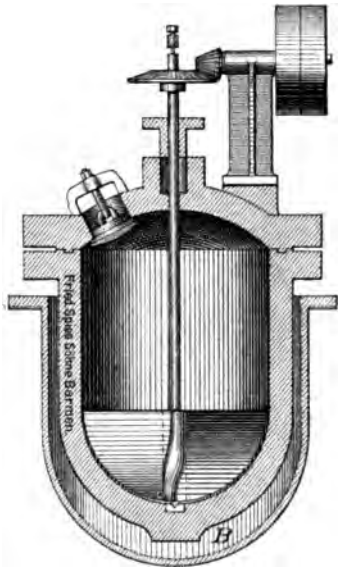


568. Autoklav mit emailliertem Einsatz.

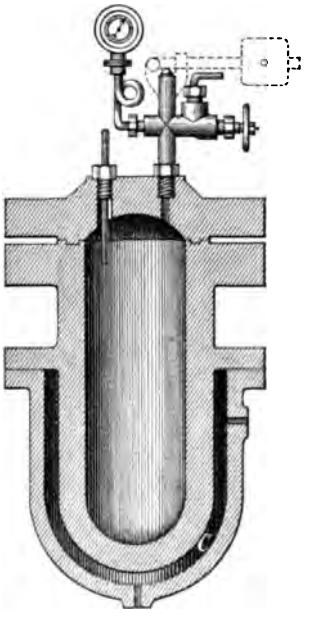


569. Selbstdichtender Autoklav.

dieser Industrie so, und so hat man das sichere Arbeiten mit Überdruck bis zu 100 Atmosphären in ihr vollständig ausgebildet (s. S. 323). Man benutzt hierzu besonders starke gußeiserne Gefäße, auf die ein ebenso starker Deckel paßt, welcher mit Schrauben so fest, als es nötig ist, aufgeflanscht werden kann. Sie sind, wenn es erforderlich ist, innen emailliert. Die Abbildung der hier wiedergegebenen Autoklaven, so nennt man diese Druckkessel, verdanken wir der Freundlichkeit der Maschinenfabrik der Herren Fried. Spies Söhne in Barmen-Wichlinghausen. Diese Fabrik liefert sie auch mit selbstdichtendem Verschluß, bei dem also die vielen Verschraubungen der älteren Konstruktionen fortfallen. Deren Einrichtung und Konstruktion ist aus der Abbildung ohne weiteres verständlich. Der zunehmende Druck preßt den Deckel A immer stärker gegen die Oberwand und bewirkt so selbsttätig einen immer festeren Verschluß.



570. Autoklav mit Rührwerk.



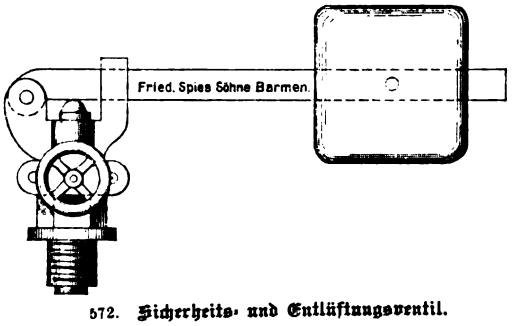
571. Autoklav mit Dampfmantel.

Die Darstellung des Dimethylanilins, die wir hier speziell besprechen wollen, erfolgt nun so, daß man salzsaures Anilin mit Methylalkohol, das ist der uns von der trockenen Destillation des Holzes her (S. 504) bekannte Holzgeist, auf 270—280° erhitzt. Der

Methylalkohol siedet unter gewöhnlichem Druck bei 66°, danach kann man sich den Druck vorstellen, der bei 280° im Autoklaven herrschen wird. Man nimmt auf 100 Teile salzsaures Anilin gegen 80 Teile Holzgeist, deren Umsetzung dann nach folgender Gleichung erfolgt:

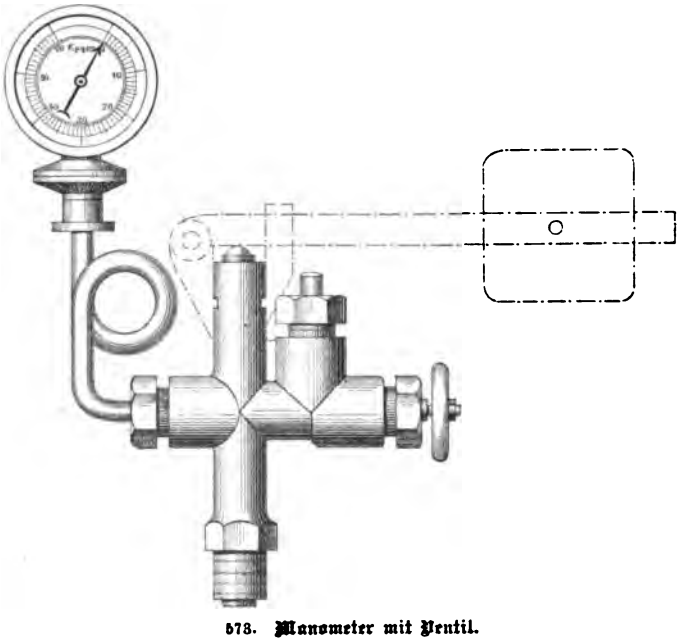
$$C_6H_5NH_2HCl + 2CH_3OH = C_6H_5N(CH_3)_2HCl + 2H_2O$$

Salzsaures Anilin + Methylalkohol = Salzsaures Dimethylanilin + Wasser.



572. Sicherheits- und Entlüftungsventil.

Zum gleichmäßigen Erwärmen auf so hohe Temperatur dient ein Ölbad B, in welchem der Autoklav hängt, der mit einem Rührwerk zum andauernden Mischen des festen salzsauren Anilins mit dem Methylalkohol versehen ist. Ist in anderen Fällen keine so hohe Temperatur nötig, so kann man diese auch mittels Dampf, den man durch einen den Autoklaven umgebenden Mantel C strömen läßt, erreichen. Wir sehen an diesem zugleich, in welcher Weise, wenn es nötig ist, an einem solchen ein Manometer, ein Sicherheitsventil, welches zugleich die Entlüftung, also das Herauslassen des Drucks gestattet, und ein Thermometer, die wir nebenbei auch gesondert abbilden, angebracht werden.

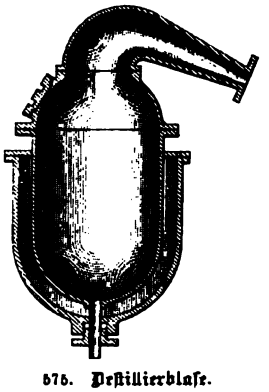


573. Manometer mit Ventil.

574. Thermometer.

Nach mehrstündigem Erhitzen des Gemisches auf die angegebene Temperatur ist die Herstellung des Dimethylanilins beendigt. Der Inhalt des Gefäßes wird mit Kalkmilch alkalisch gemacht, worauf durch Wasserdampf die freien Basen jetzt übergetrieben werden. Die Reaktion geht nämlich nicht genau nach der obigen Gleichung vor sich, sondern etwas Anilin bleibt stets unverändert, auch bildet sich etwas Monomethylanilin, und so muß das mit Wasserdampf übergetriebene Öl hernach für sich nochmals destilliert werden, wozu die nebenstehend abgebildete in einem Ölbade zu erhitzende Destillierblase dienen kann. Was von 198—205° übergeht, bildet das technische Dimethylanilin.

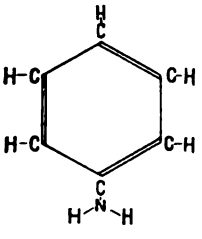
Unserer als Grundsatz in der ganzen organischen Chemie geltenden Annahme zufolge muß es auch folgenden Körper, der zu dem Anilin in einer anderen Art von Beziehung steht, geben. Wenn wir uns nämlich im ringförmigen Teile des Anilins ein Wasserstoffatom fortdenken, so haben wir doch wieder einen einwertigen Rest, und zwei solche Reste müssen sich miteinander z. B. in folgender Weise (Abb. 576—578) zu einem neuen Körper, der Benzidin heißt, vereinigen können.



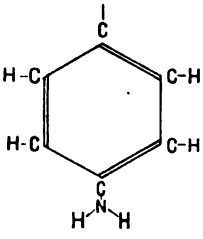
575. Destillierblase.

Das Benzidin ist, wie wir sehen, eine ganz merkwürdige Art von Doppelanilin, eine ganz andere Art jedenfalls, als die drei Phenylendiame repräsentieren, und die von ihm sich herleitenden Farben haben auch gar merkwürdige Eigenschaften, wie wir sehen werden. Aus diesem Grunde mußten wir auch dieses Zwischenprodukt der Teerfarbstofffabrikation hinsichtlich seiner Konstitution zu erklären suchen, obgleich die Methode seiner praktischen Darstellung sich hier nicht mehr klarlegen läßt, da sie bereits volles chemisches Wissen verlangt. Das Benzidin selbst bildet farblose Kryställe, die bei 122° schmelzen.

Wir gehen nunmehr zu den mit Hilfe derartiger Zwischenprodukte gewinnbaren Farbstoffen über, indem wir auch hier nur einige an sich interessierende herausgreifen, deren Herstellung sich auch Nichtchemikern verständlich machen läßt, wenn diese auch allerdings sehr genau die mitgeteilten Formeln und Gleichungen werden betrachten müssen.

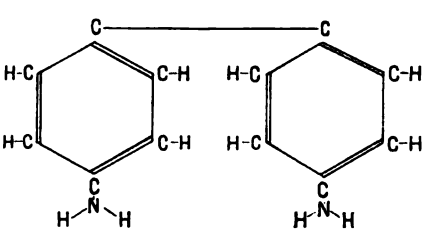


576. Anilin.



577. Einwertiger Rest des Anilins.

Zwei solche einwertige Reste treten zusammen zu



578. Benzidin.

Doch zuerst, was sind denn eigentlich Farbstoffe. Man nennt Farbstoffe Substanzen, welche die Eigenschaft haben, sich direkt oder indirekt mit pflanzlichen oder tierischen Fasern vereinigen zu können und ihnen dabei eine Färbung zu erteilen, welche durch einfaches Waschen mit oder ohne Seife nicht wieder entfernt werden kann. Eine gefärbte Substanz ist also lange noch kein Farbstoff.

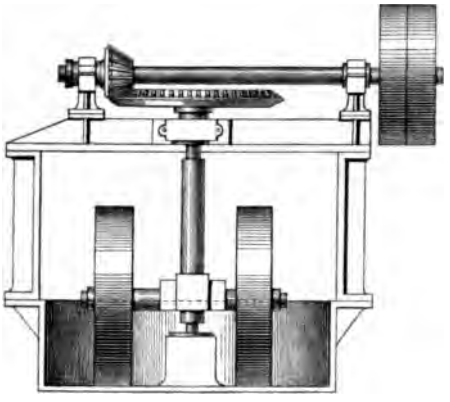
Die von uns kennen gelernten Zwischenprodukte der Teerfarbenindustrie können nun auf sehr verschiedene Art in Farbstoffe übergeführt werden. Nicht nur gehört dazu chemisches Wissen, sondern auch ein ganz besonderes, durchaus nicht jedem Chemiker gegebenes Talent, die im Laboratorium in Apparaten aller Art gewonnenen Verbindungen nun auch in der Fabrikpraxis in großen Mengen nicht übermäßig teuer herzustellen, in welch letzterer Beziehung sie heute allerdings weit besser als vor 25 Jahren daran sind.

Niemand hat diese Verhältnisse präziser und anregender geschildert, als Caro in seinen Mitteilungen über die Entwickelung der Teerfarbenindustrie, welche er, bevor sie gedruckt vorlagen, zum Teil in Form eines Vortrages in der „Deutschen Chemischen Gesellschaft zu Berlin“ (s. S. 311) den Mitgliedern dieser Gesellschaft zugänglich gemacht hatte.

In jeder Teerfarbenfabrik, sagt Caro, finden sich gegenwärtig mit allen maschinellen Verbesserungen der Neuzeit ausgerüstete mechanische Hilfsbetriebe: Maschinen- und Reparaturwerkstätten, Gießerei, Schmiede, Schreinerei, Werkstätten der Kupferschmiede, Bleilöter, Spengler, Küfer, der Zimmerleute und sonstiger Bauhandwerker. Dort werden die Apparate der Chemiker gebaut, die Konstruktionsteile für die Fabrikbauten hergerichtet,

Kisten, Fässer und Büchsen für den Versand der Waren angefertigt. Alles unter der Leitung von Maschinen- und Bauingenieuren, unterstützt durch einen Stab von Zeichnern und Konstrukteuren.

In den ersten Jahren der Industrie war dies ganz anders. Fast alles mußte von den Chemikern selbst gefunden und dem Handwerker vorgezeichnet werden, die Apparate der damaligen chemischen Technik hatten keine Vorbilder. Was man im Laboratorium in Kolben und Bechergläsern, am Rückflußkühler oder in Druckröhren hergestellt, in Porzellan- oder Platinschalen abgedampft, im Silberkessel geschmolzen, mit Glasaufsätzen fraktioniert oder im Extraktionsapparate extrahiert hatte, bot oft unüberwindliche Schwierigkeit für seine Überführung in den Betrieb. In vielen Fällen mußte man erst die Widerstandsfähigkeit der Metalle, der Emaille, der Thon-, Stein- und Holzgefäße der Verdichtungs- und Verbindungsmittel gegen den Angriff der chemischen Agentien, oftmals gesteigert durch Druck und hohe Temperaturen, kennen lernen. Man mußte die geeigneten Heiz- und Kühlvorrichtungen erproben, mechanische Rührwerke, Filter, Pumpen, Pressen, Trocken- und Zerkleinerungsapparate ersinnen. Ein Chemiker, der heute in die Technik eintritt, kann es sich z. B. nicht mehr vorstellen, daß das Nitrieren und Sulfonieren in Gußeisen (hierfür nimmt man im Laboratorium stets Glas), die Anwendung guß- und schmiedeeiserner Kessel (im Laboratorium stets Silberschalen) für die Kalischmelze erst erfunden werden mußten. Anfänglich nitrierte man auch in manchen Fabriken noch das Benzol in Steintöpfen, stellte die Antrachinonsulfosäure (für das Krapprot) in gläsernen Kolben dar und verschmolz ihre Salze für die Fabrikation ebenfalls in Silberkesseln. Wie ganz anders heute! Nur selten noch bedarf es durchgreifend neuer Vorrichtungen. Fast für jede Operation des Chemikers stehen Apparate und Fabrikationsanlagen nach bewährten Vorbildern in Bereitschaft.



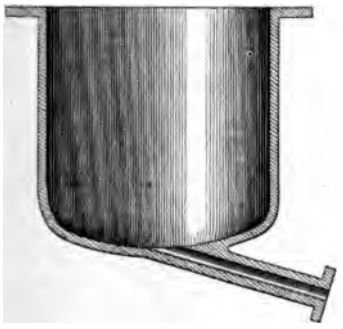
579. Kollergang.

Die Ingenieurkunst hat sich ihrer bemächtigt, und die oft dilettantenhaften Konstruktionen des chemischen Technikers zu höchster mechanischer Vollendung ausgebildet, alles dauerhafter, billiger und leistungsfähiger als früher. Spezialwerkstätten für den Bedarf der Farbstoffindustrie sind entstanden. Hand in Hand damit ist die ökonomische Verwaltung der Brennstoffe, die Ausbildung des Dampfkesselbetriebes, der Wasserversorgungs-, Beleuchtungs-, Kanalisations- und Transportanlagen gegangen. Den Dampfmotoren haben sich Dynamo-, Gaskraft- und Luftdruckmaschinen zugesellt.

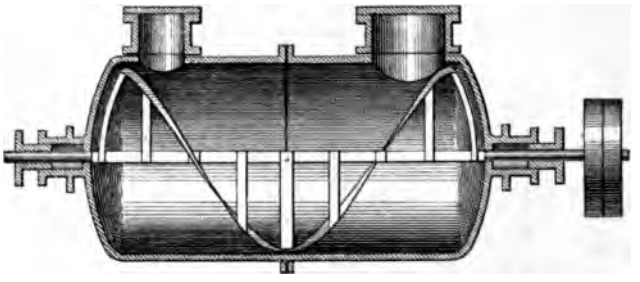
Durchwandert man jetzt die hellen, zweckmäßig und gefällig angelegten, wohlventilierten und mit geräuschlos arbeitender Transmission versehenen Fabrikräume, so begegnet man kaum noch dem platz- und zeitraubenden Filter der vergangenen Tage. Der beschleunigten Massenfabrikation der Jetztzeit hätte es nicht mehr genügen können. An seine Stelle ist das Vakuumfilter, die Zentrifuge (s. S. 341) und mehr noch die bis zur Riesendimension entwickelte Filterpresse (s. S. 342) mit ihren Auswaschvorrichtungen getreten. In Kolonnenapparaten fraktioniert man bis zu jedem bestimmten Siedepunkte, destilliert schwer flüchtige Körper im Vakuum, sublimiert im Dampf oder Luftstrom, erhitzt in Autoklaven, schmilzt im geschlossenen, mit mechanischem Rührwerk versehenen Druckkessel. Feste Massen zerkleinert neben dem Kollergang, von dem wir eine in Anilinfarbenfabriken gebräuchliche Konstruktion hier wiedergeben, der Desintegrator (s. S. 379) und die Kugelmühle (S. 521), Flüssigkeit hebt und rührt das Dampfstrahlgebläse, und auf die weitesten Entfernungen sendet sie die Druckluft. Hochgespannter und überhitzter Dampf, künstliches Eis und gekühlte Luft, Heiz- und Trockenapparate stehen für jeden Zweck zur Verfügung. Überall sehen wir die Mechanik fördernd eingreifen, und die Anwendung und Ausbildung

ihrer Hilfsmittel hat die Entwickelung der Teerfarbenindustrie in hohem Grade beeinflußt. Der Erfolg ganzer Fabrikationszweige läßt sich geradezu auf die Einführung geeigneter Apparate zurückführen.

Und nun wollen wir einmal betrachten, wie sich eigentlich der Beginn der industriellen Ausnutzung der Teerfarben gestaltete. A. W. Hofmann, ein Schüler Liebigs, hatte zu der Zeit eine Professur am Royal College of Chemistry in London inne, es war das Jahr 1856. Ein Studierender dort, der bald sein Assistent wurde, Perkin, benutzt die ihm neben dieser Thätigkeit bleibende Zeit, um noch eigene Untersuchungen auszuführen, er will künstliches Chinin herstellen. Auf dem ihm hierfür vorschwebenden Wege behandelt er eine Lösung von schwefelsaurem Anilin mit chromsaurem Kali als Oxydationsmittel, sofort erhält er einen schwarzen Niederschlag. Diesen will er genauer untersuchen und erhält aus ihm eine schön violette alkoholische Lösung. Sogleich versucht er, indem er nunmehr das Gebiet der rein wissenschaftlichen Forschung verläßt, ob die Lösung zum Färben brauchbar ist, er findet, daß sie Seide violett färbt, und zwar völlig luft-, licht- und seifenecht. Jetzt wendet er sich an den Färber Puller in Perth, der sie für brauchbar erklärt, und am 26. August 1856 wird die erste Anilinfarbe zum Patent angemeldet. Er baute, von seinen Verwandten unterstützt, eine Teerdestillation, um sich das nötige Benzol zu verschaffen, und die Firma Perkin & Sons verwendet im Dezember



580. Schmelzkessel.



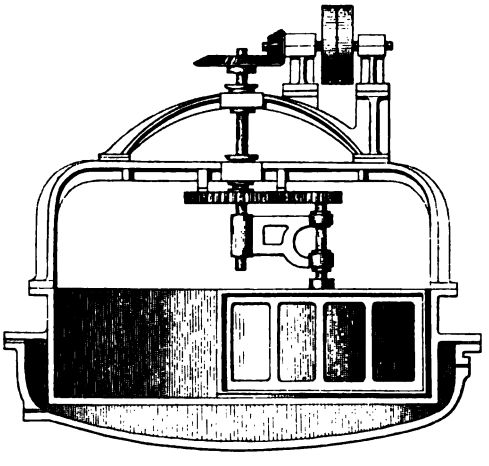
581. Extraktor.

des Jahres die erste Farbe. Der Erfolg ist glänzend. Perkins Mauveïn, so nennt er den Farbstoff, findet allgemeinen Anklang. Nun hatte 1856 auch schon Natanson bemerkt, daß aus dem Anilin sich ein schönes Rot bilden könne, und Hofmann hatte 1858 nochmals auf dieses schöne Rot hingewiesen.

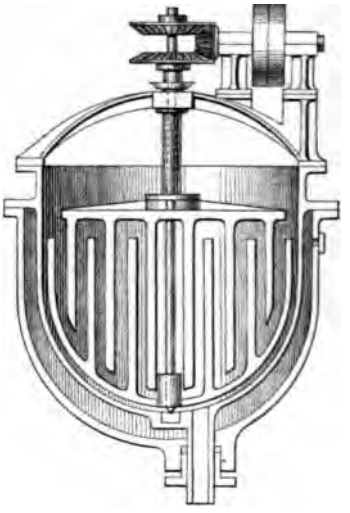
Und während seit Perkins Erfolg sich alle Welt auf Anilinfarben stürzt, gelingt dem Professor Verguin zu Lyon als erstem, dieses Rot praktisch herzustellen. Er oxydiert das Handelsanilin, das nun also schon käuflich ist, mit trocknen Metallchloriden in höherer Temperatur, er erhält die erste Farbstoffschmelze und läßt sich sein Verfahren zur Herstellung eines Rots von der Farbe der Fuchsiablüte (d. h. Fuchsin) 1859 patentieren.

Fuchsin hat sogleich einen noch weit größeren Erfolg als das Mauveïn. Solch ein Farbstoff war noch nie gesehen worden, wie matt erschien neben ihm das Rosa der Kochenille. Mit ihm erst hat die Anilinfarbenfabrikation festen Fuß gefaßt, und das Fuchsin wird ja noch bis heute dargestellt, ein so vortrefflicher Farbstoff ist es. Zur Oxydation des Anilinöls muß nunmehr alles Denkbare herhalten, jeder probiert, bis sich schließlich die Arsensäure als das beste erweist. Das zur Herstellung des Fuchsins dienende Anilin muß, um den Farbstoff liefern zu können, auch Toluidin enthalten. Toluidin ist Anilin, in welchem ein Wasserstoffatom durch die Methylgruppe CH_3 ersetzt ist, also $C_6H_4 \cdot CH_3 \cdot NH_2$. Da das zur Herstellung des Anilins im großen benutzte, technisch aus Teer hergestellte Benzol auch Toluol, das ist Methylbenzol $C_6H_5 \cdot CH_3$ enthält, bildet sich aus diesem das Toluidin bei der Darstellung des Anilins gleich mit, was man 1859 noch nicht wußte. Man hatte also damals zufällig im Handelsanilin das passende Rohmaterial für die Fuchsinschmelze. Zu ihrer Herstellung gibt man jetzt

in einen geschlossenen gußeisernen Kessel, der mit einem Abzugsrohr für Dämpfe, die in einen Kühler geführt werden, versehen ist, und welcher 2000—3000 l faßt, etwa 1000 kg Anilin, welchem man 300 kg Destillat vom letzten Male nebst 1500 kg einer wässerigen Lösung von Arsensäure von 75% Gehalt an dieser Säure zusetzt. Durch Anheizen bringt man die Temperatur des Gemisches, in welchem sich ein Rührer ununterbrochen dreht, auf 180°, worauf die Farbstoffbildung beginnt, während gleichzeitig Wasser und Anilinöl zum Teil abdestillieren. Stündlich läßt man etwa 10 l abdestillieren, und erst nach 20 Stunden verstärkt man das Feuer so, daß je 20 l übergehen. Die Erfahrung lehrt den Arbeiter, wann die Schmelze am fuchsinreichsten ist. Ist der Punkt erreicht, so läßt er durch eine untere Öffnung den Kessel leer laufen. Die Schmelze zeigt nach dem Erstarren einen goldschimmernden Bruch und muß nun extrahiert werden. Nachdem sie zerschlagen ist, kommt sie deshalb in einen Extraktor, in dem eine mechanische Rührvorrichtung die Auflösung beschleunigt, während gleichzeitig eingeleiteter gespannter Dampf die Temperatur bis auf 140° zu bringen gestattet. Nun hat man natürlich durchaus nicht immer hermetisch geschlossene Rührwerke, in denen man mit gespanntem Dampf



582. Planetenrührwerk mit Dampfmantel.

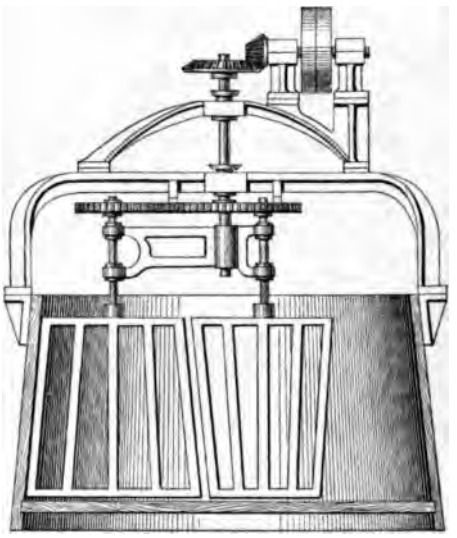


583. Doppelrührwerk mit Dampfmantel.

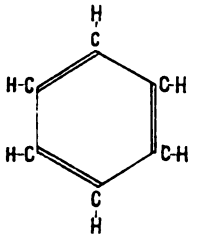
arbeiten kann, nötig, und wir geben hier gleichzeitig einige andere Rührvorrichtungen, wie sie Friedr. Spies Söhne liefern, deren Einrichtung aus den Abbildungen ohne weiteres verständlich ist, wieder. Ist der Farbstoff teilweise in Lösung gegangen, so trennt man das Flüssige vom harzigen Rückstand mittels Filterpressen und läßt die klare Flüssigkeit auf etwa 70° abkühlen. Hierbei scheidet sich ein violetter Farbstoff ab. Die von diesem wiederum getrennte Flüssigkeit wird sodann mit viel Kochsalz versetzt und kristallisieren gelassen. Da der Farbstoff des Fuchsins eine Base ist, ist er als arsenigsaures oder arsensaures Rosanilin in Lösung. Mit dem Chlornatrium setzt sich dieses zu salzsaurem Rosanilin und arsenigsaurem Natron um, so daß aus der Flüssigkeit salzsaures Rosanilin auskristallisiert. Auf die Verarbeitung der Mutterlaugen und die Wiedergewinnung des Arsens aus ihnen wollen wir hier nicht eingehen.

Die Methode läßt für die Praxis kaum etwas zu wünschen übrig, aber das erhaltene Fuchsin ist immer arsenhaltig und deshalb giftig. Nun ist aber Fuchsin an sich ungiftig, und so ist die Arsensäure durch ein anderes Oxydationsverfahren verdrängt worden. Letzteres ist sehr merkwürdig, und sein Erfinder ist Coupier. Wir kennen das Nitrobenzol $C_6H_5NO_2$, die in ihm stehende Nitrogruppe NO_2 ist doch sehr sauerstoffreich, und so benutzte Coupier sie an Stelle der Arsensäure als Oxydationsmittel

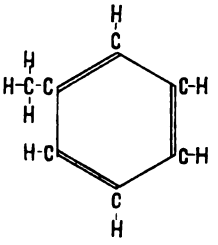
für das Anilin, als welches sie sich als brauchbar erwies. Das spezielle Verfahren ist folgendes. Zwei Drittel des zu oxydierenden Anilins werden in einem mit Rührer versehenen Kessel, der die gleiche Form wie beim Arsensäureverfahren haben kann, durch Zugabe von Salzsäure in salzsaures Anilin verwandelt, worauf das letzte Drittel Anilin zugefügt wird. Auf je 100 Teile von diesem gibt man außerdem 40—50 Teile Nitrobenzol und einige Kilogramm Gußeisenspäne, die den Prozeß begünstigen, hinzu. Auch hier erkennt man das Ende der Farbstoffbildung durch Probieren. Ist dies eingetreten, so bläst man mittels Wasserdampfes in der Schmelze noch unverändert vorhandenes Nitrobenzol und Anilin ab und reinigt hierauf den Rückstand des salzsauren Rosanilins durch Umkryſtallisieren. Schon die Beschreibung der Fabrikation zeigt, daß die Bildung des Fuchsins ein komplizierter Vorgang ist, und wirklich hat die völlige Aufklärung der chemischen Umsetzungen, die in der Schmelze zur Fuchsinbildung führen, an 30 Jahre erfordert. Man kann sich einen Begriff von ihrer Schwierigkeit machen, wenn man erfährt, daß sich die tüchtigsten Chemiker dieser Zeit an der Lösung der Aufgabe beteiligt haben, die sich in Fabriklaboratorien überhaupt nicht, sondern nur in rein wissenschaftlichen Laboratorien als lösbar erwies. Heute weiß man, daß das Rosanilin, von dem sich ganze Gruppen von Farbstoffen herleiten, seinerseits ein Abkömmling des Kohlenwasserstoffs Triphenylmethan ist. Damit nun dieser sich überhaupt bilden kann, muß im Anilin $C_6H_5NH_2$ das Toluidin $C_6H_4CH_3NH_2$ vorhanden sein. Reines Anilin kann gar kein Fuchsin liefern, wie wir aus folgenden ausführlichen Konstitutionsformeln ersehen.



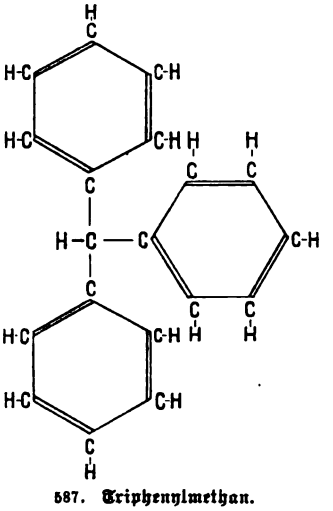
584. Doppelplanetenrührwerk mit Holzbottich.



585. Benzol.



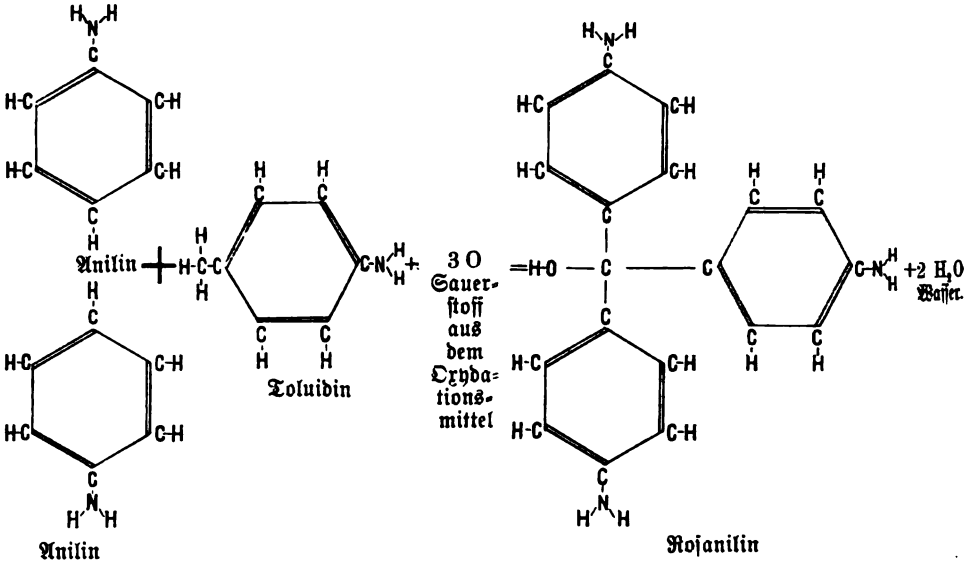
586. Toluol (oder Methylbenzol, oder Phenylmethan).



587. Triphenylmethan.

Wir sehen nämlich aus ihnen, daß zur Entstehung des Triphenylmethan nicht nur drei Benzolringe nötig sind, sondern auch eine Methylgruppe, an deren einem Kohlenstoffatom schließlich die drei Ringe hängen. Eine Methylgruppe ist doch aber im Benzol

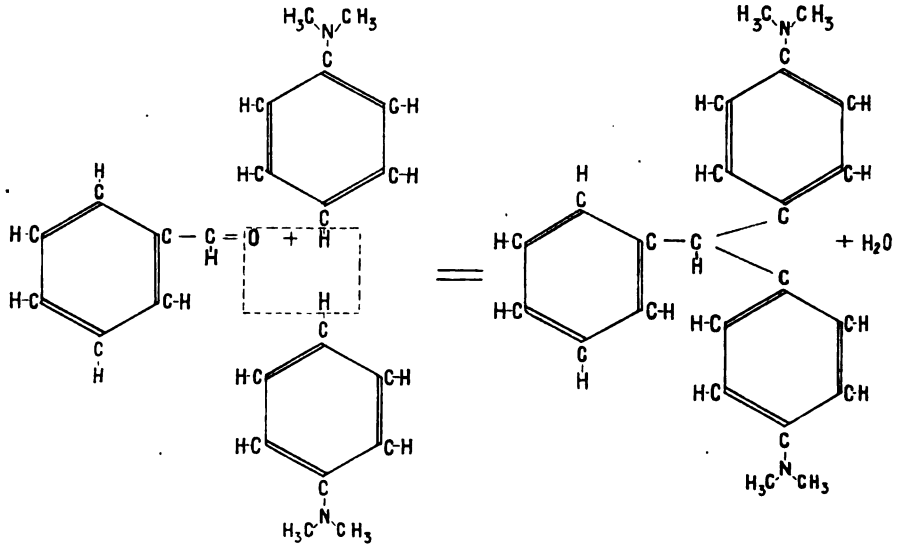
überhaupt nicht, sondern erst im Toluol enthalten, und die Bildung des Rosanilins gestaltet sich daher formelgerecht folgendermaßen:



$$2\,C_6H_5NH_2 + C_6H_4\cdot CH_3\cdot NH_2 + 3\,O = C_{19}H_{19}N_3O + 2\,H_2O$$
Anilin + Toluidin + Sauerstoff = Rosanilin + Wasser.

Das Rosanilin als Base verbindet sich also mit Säuren zu Salzen. Fuchsin ist salzsaures Rosanilin. Azaleïn, das eine Zeitlang im Handel war, war salpetersaures Rosanilin, auch essigsaures Rosanilin ist viel verwendet worden.

Während das Fuchsin eine Zufallsentdeckung war, ist die Zeit für derartige Glücksfälle fast ganz vorüber. Heute werden die Farbstoffe nach streng chemischen Grundsätzen aufgebaut, und wir wollen als Beispiel hierfür das **Malachitgrün** kennen lernen. Dieses wird so dargestellt, daß man Benzaldehyd mit Dimethylanilin kuppelt, indem man mittels wasserentziehender Mittel ein Molekül Wasser diesen beiden Verbindungen entzieht.



Benzaldehyd + 2 Dimethylanilin = Tetramethyldiamidotriphenylmethan + Wasser
$C_7H_6O + 2\,C_6H_5N\cdot(CH_3)_2 =$ $C_{23}H_{26}N_2$ $+ H_2O.$

Der entstandene farblose Körper, das Tetramethyldiamidotriphenylmethan braucht dann nur noch oxydiert zu werden, um Malachitgrün zu sein. Die Ausbeuten sind quantitativ, kurzum es wäre unmöglich, selbst wenn es sich um rein wissenschaftliche Untersuchungen handelte, die Arbeit besser durchzuführen.

In der Fabrik verfährt man etwa so: 100 Teile Dimethylanilin werden mit 40 Teilen Benzaldehyd, das ist künstliches Bittermandelöl (s. S. 575), etwas Alkohol und 100 Teilen Chlorzink als wasserentziehendem Mittel versetzt und längere Zeit im Wasserbade erwärmt. Sodann wird mit Alkali alkalisch gemacht, und die geringen Mengen unverändert gebliebenes Dimethylanilin und Benzaldehyd werden mit Wasserdampf übergetrieben. Der Rückstand erstarrt sehr bald zu Krystallen von Tetramethyldiamidotriphenylmethan. Um es in den grünen Farbstoff zu verwandeln, löst man es in Salzsäure und setzt Braunstein (s. S. 400), also Mangansuperoxyd, zu, der seine Oxydation zum grünen Farbstoff bewirkt.

Nun wollen wir auch noch die Herstellung eines Benzidinfarbstoffes, nämlich des Kongorots, kennen lernen. Von den über 400 Teerfarbstoffen, die zur Zeit hergestellt werden, wird das über ihre Fabrikation Mitgeteilte dann für unsere Zwecke genügen. So wie wir die Methyl-, die Hydroxylgruppe u. s. w. kennen lernten, so gibt es auch eine einwertige Gruppe, welche Diazogruppe heißt, sie entsteht bei der Einwirkung von salpetriger Säure auf die Amidogruppe. Anilin z. B., welches doch ausführlich bezeichnet Amidobenzol ist, wird durch sie in einen Diazokörper verwandelt. Die Diazogruppe ist ihrerseits von einer erstaunlichen Reaktionsfähigkeit. Körper, die sie enthalten, können nach den allerverschiedensten Richtungen mit anderen gekuppelt werden. Vorhin schon sprachen wir vom Benzidin, welches doch so eine Art von Doppelanilin ist, folglich kann man ihm zweimal die Diazogruppe einverleiben, und seine Reaktionsfähigkeit ist daher noch weit größer, man nennt diese Klasse von Körpern Bisdiazo- oder Tetrazokörper. Kuppelt man nun das sich von Benzidin herleitende Diphenyltetrazochlorid in Gegenwart von essigsaurem Natron mit der Naphtionsäure, das ist, wie der Name andeutet, eine Säure, die sich vom Naphtalin herleitet, so entsteht in quantitativer Ausbeute ein roter Farbstoff, welcher das Natriumsalz einer neuen Säure ist und der den Namen Kongorot erhalten hat. Wir wollen nicht mehr seine ausführliche Konstitutionsformel, aus der wir die Lagerung jedes einzelnen der in ihm enthaltenen 70 Atome erkennen können — seine Summenformel ist nämlich $C_{32}H_{22}N_6S_2O_6Na_2$ — hier abbilden, weil sie zu schwer verständlich wäre.

Wenn wir überhaupt noch dieses im Jahre 1884 entdeckte Rot anführen, so geschieht es, weil seine Auffindung einen vollständigen Umschwung der Baumwollfärberei einleitete, den größten Umschwung in der Färbung von pflanzlichen Fasern herbeiführte, der überhaupt jemals dagewesen ist. Das Kongorot ist nämlich der erste Farbstoff gewesen, welcher pflanzliche Fasern direkt, d. h. ohne Beizen (s. S. 353) färbt.

Im Jahre 1896 betrug die Einfuhr an Teerfarbstoffen ins Deutsche Reich 875 t, die Ausfuhr 16233 t.

Wir sehen also, die Industrie der Teerfarben hat nicht nur Farbstoffe geschaffen, die ebenso schön wie die früher aus dem Pflanzenreich von den Färbern gewonnenen sind, sondern auch viele, die diese an Schönheit übertreffen. Außerdem hat sie in den die pflanzlichen Fasern direkt färbenden Tetrazofarbstoffen — denn dem Kongorot sind schon eine große Anzahl Farben von gleicher Brauchbarkeit gefolgt — Farbstoffe mit Eigenschaften entstehen lassen, die der älteren Färberei überhaupt unbekannt waren.

Die künstlichen Heilmittel und die Desinfektionsmittel.

Alle bisher in diesem Buche besprochenen Leistungen der chemischen Industrie sind für die Gesamtmenschheit bestimmt, die wir uns als ein ununterbrochen vorwärts strebendes Ganzes vorzustellen haben, welches durch die Zeit nicht beschränkt ist, da an der Stelle der untergehenden Individuen stets neue frische Kräfte aufsprossen. Aber auch auf die Sorge für das Einzelindividuum erstreckt sich jetzt die Thätigkeit der technischen Chemie, indem sie Arzneistoffe aller Art dem leidenden Menschen zur Verfügung stellt.

Sie hat sich seit etwa fünfzehn Jahren unter Ausnutzung des gesamten Wissens der Zeit auf rein chemischem und physiologisch chemischem Gebiete, sowie unter Aufwendung von Geldmitteln und Arbeitskräften, wie sie niemals ein Staat seinen wissenschaftlichen Instituten zur Verfügung stellen kann, mit ganz besonderer Vorliebe sogar diesem Gebiete zugewandt.

Die Anfänge einer solchen Thätigkeit der Chemiker liegen allerdings sehr weit zurück. Schließlich müssen doch alle Ärzte der alten Zeit als Chemiker betrachtet werden, indem sie Extrakte von Pflanzen u. s. w. selbst bereiteten und als Heilmittel ihren Kranken reichten, und die intelligenten unter ihnen fortwährend nach neuen, besseren Heilmitteln suchten. Das ging ja schließlich so weit, daß umgekehrt die Chemiker zu Zeiten ihre Hauptaufgabe in der Herstellung neuer Arzneimittel sahen, und daher heißt doch auch ein älterer Abschnitt unserer Geschichte das Zeitalter der Jatrochemie (s. S. 298).

Erfolge auf dem Gebiete der Herstellung von Arzneimitteln, die nicht dem zufälligen Auffinden von solchen zu verdanken, sondern die Ergebnisse ernsten wissenschaftlichen Studiums waren, sind aber erst seit Anfang dieses Jahrhunderts erzielt worden. Obgleich mit arzneilich wirksamen Droguen bereits viel gearbeitet war, waren die Ergebnisse der Untersuchungen sehr geringe geblieben, teilweise wohl infolge falscher theoretischer Vorstellungen. Man stand nämlich zu jener Zeit noch auf dem Standpunkte, im Pflanzenreiche kämen nur neutrale Körper, wie Stärkemehl, Zucker, Cellulose u. s. w., sowie Säuren nach Art der Weinsäure, der Äpfelsäure, der Zitronensäure vor.

Da gab im Jahre 1803 der französische Apotheker Derosne bekannt, er habe aus dem Opium, also einem Pflanzenprodukt, einen alkalisch reagierenden Körper, den er Opiumsalz nannte, abgeschieden, was ihm selbst so merkwürdig schien, daß er seine neue Substanz als „matière vegeto-animale toute particulière“ bezeichnete, ja daß er fast meinte, seiner Substanz möge von der Art ihrer Darstellung her noch etwas Alkali anhaften.

Auch diese Entdeckung war ihrer Zeit bei weitem voraus und blieb unbeachtet. Die Chemie als Wissenschaft beschäftigte sich damals mit Feststellung der Begriffe Atom und Molekül, 1811 veröffentlichte Avogadro sein Gesetz, welches mit einem Schlage Klarheit in diese Grundvorstellungen brachte, kurzum gegenüber diesen das Ganze der Chemie umfassenden Fragen schien das Auffinden geringer Mengen alkalischer Stoffe im Pflanzenreiche ziemlich unwesentlich.

So wurde denn erst 1817 einwandsfrei konstatiert, daß das Opiumsalz Derosnes wirklich sich wie ein Alkali verhalte, d. h. also sich mit Säuren zu Salzen zu vereinigen vermöge; es bekam wegen seiner schlafbewirkenden Eigenschaft jetzt einen endgültigen Namen, nämlich Morphium, und nun beginnt plötzlich das Suchen nach „Alkaloiden“, so wurden diese basischen, dem Pflanzenreich entstammenden Stoffe zum Unterschied und gleichzeitig im Anschluß an die anorganischen Alkalien (Kali, Natron u. s. w.) genannt. Weiter zeigte sich, daß sie alle Stickstoff enthalten, darin also an das Ammoniak als Alkali erinnern. Im Laufe von sechzehn Jahren, etwa bis zum Jahre 1835, schienen die wichtigsten von ihnen aufgefunden zu sein, so 1817 noch das Narcotin, 1818 das Strychnin, 1820 das Chinin, 1828 das Nicotin, 1833 das Atropin, dann dauerte es recht lange Zeit, bis wieder Alkaloide von besonderer arzneilicher Wirksamkeit entdeckt wurden. Zwar kannte man das Cocaïn seit den fünfziger Jahren, aber seine Brauchbarkeit als eines lokalen Anästhetikums, als örtlich begrenzt wirkenden Chloroforms, wurde erst in den achtziger Jahren erkannt. Heute kennt man weit über hundert Alkaloide.

Sie sind also alle chemisch vollkommen charakterisierte Individuen und können in ihrer Wirksamkeit auf das genaueste präzisiert werden. Dadurch stehen sie im Gegensatz zu den Droguen, denen sie entstammen. Morphium ist bis heute das beste Schlafmittel, das es gibt, die Drogue Opium, aus der es stammt, kann dagegen als solches in der Medizin wegen anderer Wirkungen, die seine schlaferzeugende Kraft ganz in den Hintergrund treten lassen, nicht dienen, und ähnlich geht es mit sehr vielen dieser Alkaloide im Verhältnis zu den sie liefernden Pflanzenteilen.

Die völlige Reindarstellung der Alkaloide aus diesen ist eine meist recht schwierige Aufgabe, und da ihr Gehalt an diesen wirksamen Bestandteilen recht gering zu sein pflegt,

wenig für den Kleinbetrieb geeignet, weil das Arbeiten mit geringen Mengen den Preis des fertigen Alkaloids im Verhältnis zur aufgewendeten Mühe außerordentlich erhöhen muß. Seitdem sie daher überhaupt in den Arzneischatz eingeführt sind, haben sich einzelne Fabriken mit dem Sondergebiet ihrer Herstellung befaßt. Wir wollen uns hier mit der Beschreibung der Gewinnung des Morphiums und des Cocaïns begnügen.

Das Morphium wird also aus dem Opium erhalten. Dieses ist wiederum eines der am kompliziertesten zusammengesetzten Pflanzenprodukte, das wir überhaupt kennen. Außer Harzen, Fetten, Säuren, Farbstoff und Asche hat man in ihm 17 verschiedene Alkaloide gefunden, deren Namen wir nach der Zeit ihrer Entdeckung geordnet hier hersetzen wollen: Morphium, Narcotin, Codeïn, Narceïn, Thebaïn, Pseudomorphin, Papaverin, Kryptopin, Codamin, Laudanin, Laudanosin, Meconidin, Lanthopin, Protopin, Hydrocotarnin, Oxynarcotin, Gnoskopin.

Die Darstellung des Morphiums kann in folgender Art erfolgen, doch ist es fraglich, ob die einzelnen Fabriken nicht etwas voneinander abweichende Verfahren einschlagen. Man stellt sich aus Opium durch Verreiben mit kaltem Wasser einen Extrakt her, den man nach der Filtration zur Dicke eines Sirups eindampft. Nach dem Erkalten versetzt man ihn mit einer Lösung von kohlensaurem Natron, die Veranlassung zur Abscheidung eines Niederschlages gibt, der nach 24 Stunden abfiltriert und mit kaltem Wasser ausgewaschen wird. Hierauf wird dieser mit etwa achtzigprozentigem Alkohol durchgerührt und nach erneuter Filtration getrocknet. Nun übergießt man ihn öfters mit geringen Mengen Essigsäure, so daß immer nur ein Teil in Lösung geht, und fällt aus diesen Lösungen durch Ammoniak, unter Vermeidung jeden Überschusses desselben, welches sonstige Alkaloide mitfällen würde, das Morphium wieder aus, welches schließlich durch Umkrystallisieren völlig gereinigt wird. Seine Hauptverwendung findet es in Form von salzsaurem Morphium (als morphium muriaticum oder hydrochloricum von den Ärzten bezeichnet). Um zu diesem zu kommen, löst man es in verdünnter Salzsäure und läßt die Lösung krystallisieren.

Von den 17 Alkaloiden des Opiums findet außer dem Morphium, welches wohl das überhaupt am meisten verwendete Alkaloid ist, nur noch das Codeïn, wegen seiner hustenstillenden Eigenschaft, Verwendung. Seine Darstellung aus dem Gemisch der Alkaloide ist zu kompliziert, um hier erörtert werden zu können, und so gehen wir gleich zum Cocaïn über.

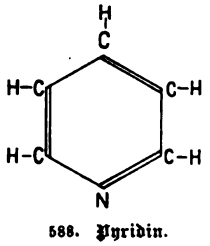
Das Cocaïn wird aus den getrockneten Blättern von Erythroxylon Coca, eines tief im Inneren Perus und Bolivias heimischen und dort kultivierten Strauches gewonnen. Nachdem der Wert des Cocaïns, namentlich für die Augenheilkunde, in der es jetzt ganz unersetzlich erscheint, erkannt war, wurden anfangs die trockenen Blätter zu seiner Reindarstellung nach Europa geschickt. Dabei machte man jedoch die unangenehme Erfahrung, daß ihr Cocaïngehalt, der anfangs 0,3 bis 0,6 % beträgt, bei dieser weiten Reise oft durch eine Art von Fäulnis völlig zerstört wird. So blieb denn nichts übrig, als das Cocaïn an Ort und Stelle, so gut es geht, aus den Blättern zu extrahieren, dessen völlige Reinigung dann in Europa erfolgen konnte. Statt 1000 kg Blätter hatte man jetzt höchstens 6 kg Rohcocaïn zu transportieren. Pfeifer verfährt dazu in der Art, daß die zerkleinerten Cocablätter mit verdünnter Natronlauge und Petroleum zwei Stunden in einem geschlossenen Gefäße durchgeschüttelt werden. Die Natronlauge, als starkes Alkali, macht das Cocaïn, das Alkaloid, aus seinen Verbindungen frei, welches sich seinerseits im Petroleum auflöst. Hernach wird das Petroleum von der wässerigen Flüssigkeit mit den Blättern getrennt und mit Salzsäure versetzt. So bildet sich das in Petroleum unlösliche salzsaure Cocaïn, welches sich daher auf diesen Säurezusatz ausscheidet. Es wird getrocknet und als solches nach Europa versendet, wo es durch Umkrystallisieren in den Zustand völliger Reinheit übergeführt wird. Der Preis für 1 kg Cocaïn betrug im Jahre:

1892	700	Mark	1894	430	Mark	1896	370	Mark
1893	465	„	1895	460	„	1897	230	„

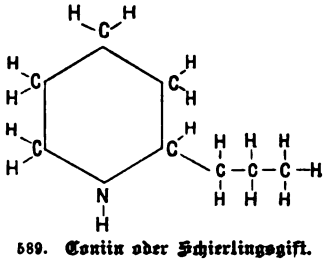
Die Einfuhr an Alkaloiden ins Deutsche Reich betrug 1896 33200 kg, die Ausfuhr 43700 kg.

Alle Alkaloide enthalten, wie erwähnt, Stickstoff, aber weiter in ihre Konstitution einzudringen, d. h. also die Lagerung aller Atome in ihnen zu erforschen, machte außerordentliche Schwierigkeiten.

In den vierziger Jahren hatte die Untersuchung jenes stinkenden Öles, welches man bei der trockenen Destillation von Tierstoffen erhält, des sogenannten Dippelschen Öles, das einst als Nebenprodukt der Blutlaugensalzfabrikation (s. S. 333) gewonnen wurde, zur Auffindung basischer stickstoffhaltiger Flüssigkeiten geführt, von denen die am niedrigsten siedende den Namen Pyridin erhielt. Der Name hängt mit dem griechischen Wort πῦρ, das Feuer, zusammen, weil sie auf dem Wege der trockenen Destillation aus den Tierstoffen erhalten wird. Später zeigte sich, daß auch viele Alkaloide bei passender trockener Destillation das Pyridin liefern. Auch fand man ein wenig von ihm im Steinkohlenteer, welcher aber bei den kolossalen Quantitäten, in denen er zur Verfügung steht, trotz seines geringen prozentualen Gehaltes an ihm jetzt jedes gewünschte Quantum Pyridin zu liefern vermag. Es wird als Nebenprodukt bei seiner Destillation gewonnen.



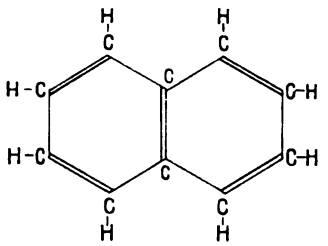
588. Pyridin.



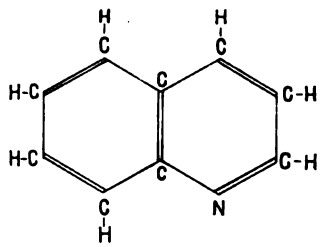
589. Coniin oder Schierlingsgift.

Das Pyridin und die ihm naheſtehenden Körper, die sogenannten Pyridinbasen, die neben ihm im Teer vorkommen, haben außerdem unangenehmen Geruch einen höchst widerlichen Geschmack und dienen jetzt im Deutschen Reich zum Denaturieren des Spiritus.

Da das Pyridin Stickstoff aber keinen Sauerstoff enthält, wollte man lange Zeit in ihm ein Derivat des Ammoniaks im Sinne unzähliger Ammoniakderivate, die man bereits kannte, sehen. Doch verhielt es sich in manchen Beziehungen ganz verschieden von diesen. Dies klärte sich mit einem Schlage auf, als man sich entschloß, jene geniale Idee Kekulés (s. S. 317) von der ringförmigen Anordnung von Atomkomplexen dahin zu erweitern, daß solche Ringe nicht nur aus CH-Gruppen zu bestehen brauchen, sondern daß der Ringschluß auch durch geeignete andere Elemente oder Atomkomplexe bewirkt sein könne. Die Summenformel des Pyridins ist C_5H_5N und kann, wenn das Stickstoffatom den Ringschluß bewirkt, dem in Abb. 588 dargestellten Atomkomplex entsprechen.



590. Naphtalin.



591. Chinolin.

Macht man aber diese Annahme, so gelten nun für diesen Ring dieselben Gesetze wie für den Benzolring, und damit erscheinen alle Pyridinderivate in einem neuen Lichte. Ausgehend von dieser Vorstellung und als ihr Erfolg sind schon einige Alkaloide künstlich im Laboratorium hergestellt. Das erste von ihnen war das Gift des Schierlings, das Coniin, welches Ladenburg im Jahre 1888 aus Steinkohlenteerpyridin hergestellt hat. Wir können diese glänzende Arbeit, zumal die giftigen Eigenschaften des Coniins jede praktische Verwertung desselben als ausgeschlossen erscheinen lassen, hier infolge ihrer Kompliziertheit nicht wiedergeben, nur wollen wir die Anordnung des Atomkomplexes, $C_8H_{17}N$, welchen das Schierlingsgift repräsentiert, hier hersetzen, um seinen Zusammenhang mit dem Pyridin zu zeigen (s. Abb. 589).

Bei der Besprechung der Benzolderivate sahen wir, daß sich zwei Ringe aneinander lagern können, das gibt dort das Naphtalin, ebenso können sich nun auch ein Benzolring

und ein Pyridinring aneinander lagern, und dieser Doppelring ist das Chinolin (s. Abb. 590 u. 591).

Sein Name leitet uns zum Chinin hinüber, dem wohl berühmtesten aller Fiebermittel. Das Chinin wird aus den Rinden von Bäumen der Gattung Cinchona gewonnen. In der Sprache der Eingeborenen Perus bedeutet China soviel als Rinde, und das ist wohl das einzige Wort dieser Sprache, das international geworden ist. Den Namen Cinchona erhielt diese Baumgattung von Linné im Andenken an die Gräfin Chinchon Gemahlin des Vizekönigs von Peru, die im Jahre 1638 von einem Fieberanfall durch Einnahme der gepulverten Rinde genas. Damit begann der Ruf seiner Wirksamkeit unter den Europäern. Die Jesuiten brachten das Pulver nach Europa, wo es oder das aus ihm dargestellte Chinin bis vor 15 Jahren etwa als wertvolles Fiebermittel einen hervorragenden Platz unter den Arzneimitteln einnahm, indem kein weiteres Fiebermittel, welches die Natur in den Pflanzen liefert, ihm an Wirksamkeit gleich kommt. Ursprünglich kam die Rinde nur aus Mittel- und Südamerika. Veranlaßt durch ihre Kostbarkeit versuchte man Anpflanzung auch in anderen tropischen Ländern. Erfolge erzielte damit zuerst der in holländischen Diensten stehende deutsche Botaniker Haßkarl, der große Kulturen auf Java anlegte. Daran schlossen sich solche in Ostindien und Westindien. Die Lieferung der Rinden nach Europa ist dadurch eine so massenhafte geworden, daß ein Teil der Plantagen bereits wieder aufgegeben worden ist, indem nicht nur ihr übermäßiges Angebot den Preis unter die Herstellungskosten herabdrückte, sondern inzwischen dem Chinin selbst in künstlich von den Chemikern hergestellten Heilmitteln die gefährlichste Konkurrenz erwachsen ist. Die Einfuhr an Chinarinde ins Deutsche Reich betrug im Jahre 1896 3446 t.

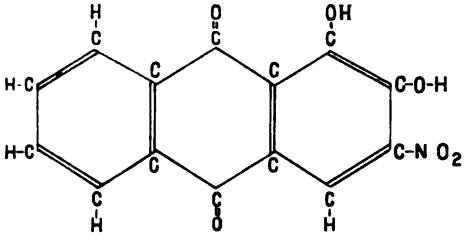
Der wirksame Stoff der Chinarinde ist wiederum ein Alkaloid, das Chinin, dessen komplizierte Darstellung aus den Rinden wir hier nicht wiedergeben können. Schwefelsaures Chinin, welches am meisten in der Medizin gebraucht wird, kostet nunmehr 21 Mark das Kilogramm, ein so niedriger Preis, daß man ihn vor einiger Zeit noch für undenkbar hielt, da er sich in früheren Jahren immer zwischen 300 und 400 Mark bewegt hat. Destilliert man Chinin unter geeigneten Bedingungen, so gewinnt man aus ihm ein Öl, welches den Namen Chinolin erhalten hat. Nur reichdotierte Laboratorien konnten mit diesem Produkt arbeiten, denn wenn schon Chinin eine kostbare Substanz war, so kann man leicht urteilen, daß Chinolin gewiß teuer sein mußte. Heute kostet ein ganzes Kilogramm von ihm aber nur wenige Mark, heute stellt man es aus Steinkohlenteer her, und dazu kam man auf folgende Art.

Fand da ein Koloriſt zu Mülhausen im Elsaß im Jahre 1877 eines Tages eine wunderschöne blaue Farbe, als er Nitroalizarin, Alizarin, das ist das künstliche Krapprot, Glycerin und Schwefelsäure zusammen erhitzte. Die schöne Farbe veranlaßte die Badische Anilin- und Sodafabrik, durch einen ihrer Chemiker die Entdeckung zu einer technisch verwertbaren ausgestalten zu lassen. Wie aber diese, vom chemischen Standpunkte aus betrachtet, höchst seltsame Mischung aufeinander wirke, blieb rätselhaft. Man wandte sich deshalb an Gräbe, der neun Jahre vorher mit Liebermann zusammen das künstliche Alizarin dargestellt hatte, mit der Bitte um Untersuchung dieses Blaues. Gräbe kam bald dahinter, daß bei dieser Gelegenheit aus dem Alizarin, welches sich vom Anthracen herleitet, das, wie wir wissen, aus drei Benzolringen besteht, ein ringförmiger stickstoffhaltiger Körper entsteht, und über das, was das Glycerin in diesem Gemische leistet, drückte er sich folgendermaßen aus. Nach dem erhaltenen Resultat wirkt das Glycerin beim Erhitzen mit Nitroalizarin und Schwefelsäure nicht nur reduzierend, sondern es bewirkt gleichzeitig eine höchst wunderbare Synthese. Dieselbe läßt sich durch folgende Gleichung veranschaulichen:

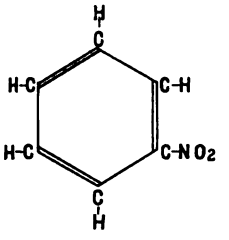
$$C_{14}H_7O_4NO_2 + C_3H_8O_3 = C_{17}H_9NO_4 + 3H_2O + 2O$$
Nitroalizarin + Glycerin = Alizarinblau + Wasser + Sauerstoff.

Da im Alizarinblau ein stickstoffhaltiger Ring enthalten sei, habe es etwas Chinolinartiges an sich.

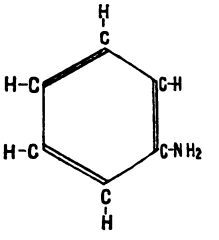
Diese Mitteilungen veranlaßten wiederum Skraup in Wien zu folgenden weiteren Schlüssen. Was wird aus dieser Reaktion, wenn ich statt des Nitroalizarins mit seinem Dreiring das Nitrobenzol mit seinem Einring verwende, wofür wir hier die Schemata wiedergeben wollen:



592. Nitroalizarin.



593. Nitrobenzol.



594. Anilin.

Da nach Gräbes Gleichung während der Reaktion Sauerstoff disponibel ist, welcher Nebenreaktionen veranlassen muß, welche die Ausbeute am eigentlich gesuchten Körper verschlechtern, so werde ich gleich etwas zusetzen, das durch diesen Sauerstoff mit möglichster Leichtigkeit momentan in Nitrobenzol übergeführt werden kann und so die störende Wirkung dieses Sauerstoffs vermindern hilft. Dieser Körper ist in diesem Falle das Anilin, wie ebenfalls aus obigen Formeln ersichtlich ist.

Skraup erhitzte auf diese theoretischen Vorstellungen hin Nitrobenzol, Anilin, Glycerin und Schwefelsäure und erhielt wirklich den erwarteten einfachsten aller chinolinartigen Körper, nämlich das Chinolin selbst. Man erhitzt dem amerikanischen Patent Nr. 241 738 zufolge am besten 144 Teile Nitrobenzol mit 216 Teilen Anilin, 60 Teilen Glycerin und 600 Teilen Schwefelsäure anfangs vorsichtig, schließlich so stark, daß man einen Kühler anbringen muß, damit das Abdestillierende immer wieder zurückfließt, und verdünnt nach dem Erkalten mit Wasser, worauf man mittels Wasserdampf unangegriffen gebliebenes Nitrobenzol mit Wasserdampf abbläst. Zum Rückstand setzt man hierauf Natronlauge, die das alkalische Chinolin in Freiheit setzt, indem sich anderseits schwefelsaures Natron bildet. Freies Chinolin — nicht das vor dem Zusatz des Alkalis in der Lösung befindliche schwefelsaure Chinolin — ist ebenfalls mit Wasserdämpfen flüchtig und wird jetzt mittels dieser übergetrieben. Die Ausbeute an ihm beträgt etwa 70% des theoretisch Möglichen. Bei der Billigkeit der zur Verwendung kommenden Reagenzien ist es klar, daß das Chinolin jetzt nicht mehr teuer sein wird.

Wenn man weiter bedenkt, daß diese Reaktion mit dem Dreiring sowohl wie mit dem Einring ausführbar ist, so kann man weiter leicht verstehen, daß man durch passende Abänderung der Ausgangsmaterialien eine fast beliebige Anzahl von Chinolinabkömmlingen wird herstellen können, und indem sich hiermit viele beschäftigen, wächst deren Anzahl, man kann sagen, jetzt fast täglich.

Nachdem das Chinolin ein in beliebigen Mengen leicht zugänglicher Körper geworden war, lag folgende weitere Deduktion wiederum nahe. Das Chinolin bildet sozusagen das Gerippe des Chinins, dessen Zusammensetzung aus seinen vielen Atomen im übrigen so kompliziert ist, daß man heute noch nicht weiß, wie alle diese weiteren einzelnen Atome in ihm miteinander verbunden sind. Ist es aber nötig, daß am Chinolin alle sonstigen Atome genau so wie im Chinin angelagert sein müssen, damit das Ganze ein Fiebermittel sei, also fiebernden Kranken Linderung schafft? Der Versuch zeigte, daß das nicht nötig ist, denn als man das Chinolin durch Heranbringen von weiteren Atomen und Atomkomplexen so abänderte, daß die neuen Körper nach den Vorstellungen der Sachverständigen Fiebermittel sein konnten, zeigte sich die Richtigkeit dieser Annahme. Das erste so dargestellte Mittel war das im Jahre 1881 in den Handel gebrachte Kairin.

Die Wirksamkeit solcher Mittel wird natürlich an fieberkranken Tieren ausprobiert. Es ist nicht schwer, bei Tieren Fieber zu erzeugen, und sinkt ihre hierdurch gesteigerte Körpertemperatur auf Einverleibung eines Mittels herab, so hat dieses antipyretische

Wirkungen, also Wirkungen nach Art eines Fiebermittels. Selbstverständlich müssen aber auch aufs genaueste alle Nebenerscheinungen, die ein solches neues Mittel hervorruft, beobachtet werden, die bei den meisten die Körpertemperatur herabsetzenden Mitteln so unerfreulicher Art sind, daß an ihre Verwendung beim Menschen nicht zu denken ist.

Dem Kairin sind dann ungezählte Nachahmungen und Verbesserungen gefolgt, denn das wäre doch ein mehr als merkwürdiger Zufall gewesen, wenn gleich das erste Mittel sich als unübertrefflich erwiesen hätte. Seit Jahren behauptet sich ganz besonders das Antipyrin in der Vorliebe der Ärzte, dessen chemische Formel $C_{11}H_{12}N_2O$ ist. Seine Herstellung, die eine wissenschaftliche Arbeit ersten Ranges ist, setzt so viele chemische Kenntnisse voraus, daß sie hier unmöglich klar gemacht werden kann. Was an ihm verdient worden ist, stellt wohl alles sonst in der Beziehung bekannt Gewordene in den Schatten. Da es sich gegen das mit der Influenza verbundene Fieber bewährte, soll sich der Bedarf an ihm zur Zeit, als diese in ganz Europa wütete, einige Wochen lang bis auf den Betrag von 150000 Mark täglich belaufen haben, wovon dem Entdecker 20% als Patentgebühr zugefallen sein sollen. Die Genauigkeit dieser Angaben ist natürlich nicht kontrollierbar. Im Jahre 1896 betrug die Einfuhr von Antipyrin ins Deutsche Reich 300 kg, die Ausfuhr 14700 kg.

Hat das Chinin, das berühmteste aller Fiebermittel, Konkurrenz durch die Erfolge der Chemiker bekommen, so teilt es damit nur das Geschick manch anderen Alkaloids, dessen Ersetzbarkeit und Ersatz durch Produkte der Kunst vor 50 Jahren selbst die Gebildetsten ihrer Zeit noch als unmöglich ansehen mußten.

Das erste von allen aus einer Pflanze rein dargestellten Alkaloiden ist doch das Morphium gewesen, und diesem hat die Natur in Bezug seiner Wirkung auf den menschlichen und auch tierischen Körper, wie man das an Hunden z. B. beobachtet, eine Art von beglückender Zauberkraft mitgegeben. Ihm weicht jeder auch der wütendste Schmerz, und nicht nur das, Träume erfreulichster Art umgaukeln statt dessen die Kranken, wie sie erzählen, wenn sie einige Male Morphium, und zwar gibt man ihnen höchstens $^2/_{100}$ g, bekommen. Sehr bald allerdings stumpft sich seine schöne Nebenwirkung etwas ab, aber einen erquickenden Schlaf führt es schließlich stets herbei. Diese Sicherheit und Schnelligkeit seiner Wirkung verdankt es namentlich dem Vorschlage des englischen Arztes Wood, der im Jahre 1855 zuerst seine subcutane Verwendung empfahl, d. h. seine Einspritzung unter die Haut. Auf diesem Wege gelangt es weit rascher und ganz zuverlässig in die Blutbahn, während bei innerlicher Darreichung die Resorptionsfähigkeit des Verdauungstraktus für dasselbe bei den einzelnen Individuen sehr variieren kann. Weshalb die Natur dies herrliche Mittel so versteckt hat, daß erst unserer Generation seine volle segenspendende Kraft zu gute kommt, während ungezählte vorausgegangene Generationen dieses Schmerzenlinderers entbehren mußten, wer will das ergründen. Nur eine der traurigen Wirkungen des Opiums ist auch ihm geblieben, denn wie die Opiumraucher an diesem ihrem Laster zu Grunde gehen, so ruiniert sich auch mancher durch übermäßigen Morphiumgebrauch. Häufiger Gebrauch desselben führt nämlich geradezu eine Sucht nach ihm herbei, und nur fortwährend gesteigerte Dosen bringen noch die Wirkung der ehemals geringen Mengen hervor. Nun ist aber Morphium in größeren Mengen ein furchtbares Gift, und wenn diese Eigenschaft auch bei kleinen, selten genommenen Dosen in keiner Weise zur Geltung kommt, so wird die Gesundheit der Morphiumsüchtigen von ihm schließlich völlig untergraben, sie siechen körperlich und geistig dahin, bis sie meist an den Folgen ihres Lasters zu Grunde gehen. Diese gefährlichste Seite teilt also das Morphium mit dem Sorgenbrecher Alkohol, dessen andauernder übermäßiger Genuß ja auch zum Delirium tremens führt.

Diese mit der Anwendung des Morphiums verbundene Gefahr war gewiß ein ausreichender Grund, nach Ersatz dafür zu suchen. Als erstes von diesen wurde das Chloralhydrat empfohlen. Seine technische Darstellung ist folgende. In Alkohol von 96—98% wird trockenes Chlorgas anfangs unter Abkühlung, hernach unter Erwärmen eingeleitet. Die erhaltene Flüssigkeit wird hierauf mit viel konzentrierter Schwefelsäure versetzt, wodurch sich auf ihr eine ölige Flüssigkeit, welche Chloral ist, abscheidet. Diesem Öl, dem Chloral, kommt die Eigenschaft zu, daß es, sobald es mit Wasser in Berührung kommt,

sich mit diesem verbindet und in Verbindung mit ihm zu schönen Kryställen erstarrt. Diese seine Eigenschaft erklärt uns seinen Namen Chloralhydrat. Das Chloral führt auch Schlaf herbei, aber jenes zauberhafte Etwas des Morphiums fehlt ihm, niemand wird chloralsüchtig werden.

Natürlich hat man sich nicht mit diesem einen Ersatz zufrieden gegeben, sondern auch eine Unsumme anderer Körper auf ihre Brauchbarkeit als Schlafmittel geprüft, und noch eine große Anzahl anderer Substanzen als geeignet befunden. Namentlich auch das Sulfonal, dessen Formel $C_7H_{16}S_2O_4$ ist, hat weite Verbreitung gefunden. Nachdem eine Reihe von Jahren das Kilogramm von ihm 200 Mark gekostet hat, ist es jetzt auf 20 Mark gefallen. Keines der Ersatzmittel kann aber nach Art des Morphiums subcutan injiziert werden, und sie stehen ihm alle schon in dieser Beziehung bedeutend nach. Ein Kilogramm Morphium kostet jetzt etwa 180 Mark. Schlaflosigkeit kann man also heutzutage so ziemlich ohne ernste Folgen bannen, und dies kommt namentlich geistig stark arbeitenden Menschen zu gute, indem doch geistige Überanstrengung, abgesehen von eigentlichen Krankheiten, ihre Ursache zu sein pflegt. Die Schlaflosigkeit ist, wie mancher wohl meinen mag, durchaus nicht erst ein Übel der neueren Zeit, sondern von schlaflosen Nächten hervorragender Menschen wird häufig erzählt, und auf Einfälle in schlaflosen Nächten hat mancher seine nachherigen Thaten zurückgeführt. Man sah aber im Gegensatz zu heute in der Schlaflosigkeit ein Übel, welches man bei der Aussichtslosigkeit seiner Bekämpfung wie so viele andere einfach hinnehmen müsse.

Nur für jenen glücklicherweise geringen Teil von Menschen, welcher sich schmerzhaften Operationen unterwerfen muß, ist man von jeher bestrebt gewesen, Mittel zu finden, welche den Kranken in einen womöglich so tiefen Schlaf versetzen, daß er, wie im gewöhnlichen Schlaf schwächeren Geräuschen, so hier schweren Schmerzen gegenüber unempfindlich und dabei zugleich in jener Ruhelage bleibt, welche die für die Operationen geeignetste ist. So sagt schon Dioscurides: Einige kochen die Wurzel der Mandragora (wahrscheinlich Belladonna) mit Wein bis zu einem Drittel ein und geben davon einen Becher 1) bei Schlaflosigkeit, 2) bei heftigem Schmerz, 3) um Unempfindlichkeit für das Schneiden und Brennen hervorzurufen, und von der Pflanze Morion sagt er: Nimmt man von ihr eine Drachme, so tritt Betäubung ein. Der Mensch schläft alsdann drei bis vier Stunden in der Stellung, in welcher er die Arznei genommen hat. Auch diese brauchen die Ärzte, wenn sie brennen und schneiden wollen. Trotz dieser zuversichtlichen Beschreibungen haben sich all derartige Mittel in der Praxis nicht bewährt, und bis vor jetzt noch nicht 52 Jahren mußten sich die Kranken mit den Schmerzen der Operationen so gut abfinden, als sie eben konnten, und es konnten viele Operationen der mit ihnen verbundenen übermäßigen Schmerzen halber gar nicht ausgeführt werden. Dabei war die Roheit der Zeiten und ihrer Behandlungsweise manchmal eine für uns schier unglaubliche. So war es bis vor etwa 350 Jahren Gebrauch, die Reststücke von in der Schlacht abgeschossenen Gliedern in siedendes Öl zu tauchen, was ihren Heilungsprozeß sichern sollte. Als dann aber nach einer Schlacht das Öl knapp war, konnten nur die Offiziere dieser Behandlung unterworfen werden. Der französische Arzt Ambroise Paré, der diese Kur ausführte, bemerkte jedoch später, daß auch die Wunden der nicht gefolterten Verwundeten, ein anderer Ausdruck ist für dies Verfahren wohl kaum brauchbar, nicht schlechter heilten, als die jener Offiziere, worauf er erfolgreich für Abschaffung des ganzen Verfahrens eintrat, das sich dann allmählich verlor, indem er in seinem 1545 erschienenen Buche „Methode, durch Haquebuts und andere Feuerwaffen verursachte Wunden zu behandeln" das Überflüssige dieses grausamen Verfahrens darlegte. Der Grundgedanke des Verfahrens mag wohl der gewesen sein, das häufig zum Tode führende übermäßige Vereitern der Wunden hintanzuhalten, heutzutage erreicht man das bekanntlich durch Karbolsäure, Sublimat, Jodoform und ähnliches statt siedenden Öles, worauf wir hernach zurückkommen.

Alle schmerzlos und mit glücklichem Erfolge Operierten hätten Grund den 17. Oktober als Feiertag zu begehen, denn am 17. Oktober 1846 ist die erste größere chirurgische Operation vollkommen schmerzlos unter dem Einfluß der Narkose, d. h. dem durch Betäubungsmittel hervorgerufenen tiefen Schlaf ausgeführt worden, so daß bald hernach

der damalige berühmte Professor der Chirurgie zu Berlin Dieffenbach schreiben konnte: „Der schöne Traum, daß der Schmerz von uns genommen, ist zur Wirklichkeit geworden. Der Schmerz, dies höchste Bewußtsein unserer irdischen Existenz, hat sich beugen müssen vor der Macht des menschlichen Geistes, vor der Macht des Ätherdunstes."

Zu Ende vorigen Jahrhunderts war von Priestley ein Gas, das aus Stickstoff und wenig Sauerstoff besteht, entdeckt worden, das den Namen Stickoxydulgas führt. Davy (s. S. 306) experimentierte hernach mit ihm, welches man einfach durch Erhitzen von salpetersaurem Ammoniak (s. S. 537) in einer Retorte erhält, das dabei in Stickoxydul und Wasser zerfällt,

$$NO_3NH_4 = N_2O + 2H_2O$$

Salpetersaures Ammoniak = Stickoxydulgas + Wasser.

an sich selbst herum, wozu ein nicht geringer Mut gehört, wollte doch ein englischer Arzt z. B. in ihm das Prinzip aller ansteckenden Krankheiten erkannt haben u. s. w. Das Gas schläferte ihn für kurze Zeit unter den angenehmsten Empfindungen ein, die er in folgenden ins Deutsche übertragenen Versen wiederzugeben sucht:

Kein leerer Traum, kein rasendes Verlangen
Erweckt in mir Gestalten höchster Lust,
Kein sträflich Feuer lodert in der Brust,
Und doch färbt Purpur meine Wangen.

Doch strahlen sprühend Licht die Augen wider,
Doch leises Tönen auf den Lippen schwebt,
Doch rieselt inn're Wollust durch die Glieder,
Die eine nie gefühlte Kraft belebt.

Er gab ihm daraufhin den Namen Lachgas oder Lustgas, doch ist es erst vor zwanzig Jahren etwa eine Zeitlang fabrikationsmäßig dargestellt worden, indem es den Zahnärzten als Betäubungsmittel für ihre kurzen Operationen dienen sollte. Davy selbst hatte schon seine Verwendung bei chirurgischen Operationen empfohlen, aber die Chirurgie ging achtlos hieran vorüber. Der Zahnarzt Horace Wells in Hartford Nordamerika nahm zuerst ernstlich die Sache in die Hand, indem er sich, betäubt vom Gase, einen Zahn ziehen ließ, ohne Schmerz dabei zu empfinden. Er wandte sich daraufhin an Warren, den Oberarzt des Massachusettshospitals zu Boston, der auch einen Versuch mit einer größeren chirurgischen Operation an einem Kranken anstellte, doch mißglückte die Sache wohl infolge Unerfahrenheit aller Beteiligten, und die Studenten zischten Wells aus.

Vermochte auch das verhältnismäßig neu entdeckte Stickoxydul nicht zu bieten, was man von ihm erwartet hatte, jene Hoffnungen, die es angeregt hatte, erfüllte dann ein lange bekannter Körper, dessen wertvolle Eigenschaften in dieser Beziehung 300 Jahre unerkannt geblieben waren. Dieser Körper ist der Äther. Valentinus Cordus, Professor der Arzneimittellehre zu Wittenberg, hatte ihn um 1530 zuerst aus dem Alkohol gewonnen. Er wird heute in den größten Mengen hergestellt, und seine Fabrikation ist folgende:

Man stellt ein Gemenge von 9 Teilen konzentrierter Schwefelsäure mit 5 Teilen Spiritus von 90 % her und destilliert es, indem man durch Beobachtung des im Destillationsapparat angebrachten Thermometers dafür sorgt, daß die Temperatur zwischen 130° und 140° beträgt. Unterhalb dieser geht viel Alkohol mit über, oberhalb derselben tritt Zersetzung des Alkohols nach anderen Richtungen ein. Die Schwefelsäure wirkt bei dieser Temperatur dagegen kurzweg wasserentziehend auf zwei Moleküle Alkohol, die unter Austritt von einem Molekül Wasser Äther bilden.

$$\begin{matrix} C_2H_5OH \\ C_2H_5OH \end{matrix} - H_2O = \begin{matrix} C_2H_5 \\ C_2H_5 \end{matrix}\!>\!O$$

2 Moleküle Alkohol liefern 1 Molekül Äther.

Die Summenformel des Äthers ist also $C_4H_{10}O$. Die vollkommene Aufklärung dieses für uns, nachdem wir die Erklärung kennen, so einfachen Vorganges, der sich nicht direkt, sondern unter Verlauf von Zwischenreaktionen abspielt, erfolgte 1851 durch Williamson. Sie bedeutet einen Wendepunkt für die organische Chemie, in der sie den Abschluß einer sehr großen Anzahl höchst geistreicher Arbeiten repräsentiert und zugleich ein sicherer Stützpunkt für die Folgezeit wird.

Weil bei der Darstellung des Äthers Schwefelsäure zur Verwendung gelangt, glaubte man in alten Zeiten, er wäre schwefelhaltig, und gab ihm den Namen Schwefeläther,

aber schon im Jahre 1800 bewies Rose, daß er absolut schwefelfrei ist. Zu seiner Herstellung kann jeder beliebige Destillationsapparat, dessen Destillierblase der Schwefelsäure widersteht, und dessen Kühler genügend leistungsfähig ist, Verwendung finden, so daß die nochmalige Abbildung eines solchen, da sich im Buche doch bereits mehrere finden, unnötig erscheint. Was die meiste Berücksichtigung bei seiner Fabrikation erfordert, ist seine große Feuergefährlichkeit, gegen die man sich durch Aufstellung der Blase in einem Raume, welcher durch eine Wand vom Kühler getrennt ist (s. z. B. S. 595), möglichst zu schützen sucht.

Den Alkohol, als für gewerbliche Zwecke bestimmt, läßt die Steuerbehörde steuerfrei, und denaturiert ihn durch Zugabe von 250 g Tieröl (s. S. 333) auf 1000 kg. Man läßt ihn und die Schwefelsäure in die meist aus Blei hergestellte Blase, die auf direktem Feuer steht, fließen. Ist die Destillation einmal im Gange, so läßt man Tag und Nacht hindurch so viel Alkohol in die Blase nachfließen, als Flüssigkeit aus ihr abdestilliert. Erst nach längerer Zeit ist die Schwefelsäure so verunreinigt, daß sie erneuert und deshalb der Prozeß unterbrochen werden muß. Das erhaltene Destillat besteht aus zwei Schichten, nämlich dem auf dem mitübergegangenen Wasser schwimmenden Äther, welcher als die weit leichtere Flüssigkeit — sein spezifisches Gewicht ist 0,720 — auf ersterem schwimmt.

Der Rohäther reagiert durch die in ihm gelöste geringe Menge von schwefliger Säure, die sich während des Prozesses aus der Schwefelsäure bildet, sauer. Zugabe von etwas Ätznatron bindet diese völlig. Er wird sodann aus einer kupfernen, mit Dampfschlange versehenen Destillierblase nochmals destilliert. Auch sie ist mit einem Thermometer versehen. Die Dämpfe passieren, ehe sie in den Kühler treten, einen mit Holzkohlen gefüllten Cylinder, in dem ihnen diese unangenehm riechende Beimengungen entzieht. Solange das Thermometer 35°, den Siedepunkt des Äthers, zeigt, wird dieser als reines Handelsprodukt aufgefangen. Was alsdann bis 80° übergeht, wird als Gemisch von Äther und Alkohol der nächsten zu rektifizierenden Portion wieder zugesetzt, und was von 80° bis 100° kommt, wird als Rohspiritus wieder mit verwendet. Gute Destillierapparate mit vorzüglichen Kühlvorrichtungen liefern eine Ausbeute von 99% an Äther, berechnet auf die Menge des in Arbeit genommenen Spiritus.

Es wird ein für alle Zeiten zu bedauerndes Faktum bleiben, daß seine einschläfernde Wirkung erst so spät in ihrer Brauchbarkeit für die Menschen erkannt worden ist. Denn seine Wirkung in dieser Beziehung konstatierte bereits bei Tieren der Alchemist und Mediziner Theophrastus Bombastus Paracelsus (s. S. 299) im Jahre 1541. Auf Seite 1064 seiner in Straßburg 1603 nochmals in zehn Bänden aufgelegten gesammelten Schriften heißt es: „Zum anderen hat dieser Sulphur (es ist unser Äther gemeint) eine Süße, daß ihn die Hühner all essen und aber entschlaffen auff ein Zeit ohn Schaden wieder aufstohnt. Diesen Sulphur sollt ihr nicht anders erkennen, denn wo es ist, daß eine Krankheit durch Anodyna soll curirt werden, daß dieser Sulphur thun mag ohn allen schaden, alle Passiones legt er, sediert alle dolores, extinguirt alle Calores, mitigirt alle grimmigen Krankheiten."

Aus diesem Citat geht doch klar hervor, daß die einschläfernde und dabei unschuldige Wirkung des Äthers auf Tiere bereits dem Paracelsus bekannt war. Leider haben weder er noch haben alle, die seine Bücher gelesen haben, aus diesem Tierversuch — wir sehen, Probieren an Tieren ist keine der Neuzeit zur Last zu legende Grausamkeit — die richtigen Konsequenzen zu ziehen gewußt, sonst wären schmerzlose Operationen an Menschen schon seit 350 Jahren in Übung. Der eigentliche Wiederentdecker der einschläfernden Wirkung des Äthers ist Jackson in Boston im Jahre 1842 gewesen, ohne zu seiner Anwendung in der Chirurgie zu schreiten. Im Jahre 1846 wandte sich an ihn der Zahnarzt Morton mit der Bitte, ihm Stickoxydulgas zu seinen Operationen herzustellen, doch Jackson empfahl ihm statt dessen Äther anzuwenden. Der Erfolg war ein so merkwürdiger, daß sich beide wiederum an Warren mit der Bitte wandten, eine Operation unter Äthernarkose, wie man jetzt sagt, ausführen zu wollen. Der Versuch fand in der Art statt, daß Morton den an einer bösartigen Halsgeschwulst leidenden Patienten drei Minuten lang Ätherdämpfe einatmen ließ, worauf ihn Warren

schmerzlos operierte. Ein zweiter Versuch, bei dem unter den gleichen Bedingungen am folgenden Tage einer Frau eine große Armgeschwulst entfernt wurde, gelang ebenso ausgezeichnet, und bald hallte die ganze Welt von der merkwürdigen Entdeckung wider, aber man befand sich noch in der Zeit der Segelschiffe, submarine Telegraphen gab es erst recht nicht, und so ward in Europa die erste Operation unter Narkose erst am 22. Dezember 1846 von Liston in London ausgeführt. Bei ihr wurde einem Manne der Oberschenkel amputiert.

Die Feuergefährlichkeit des Äthers, welche bald Unglücksfälle herbeiführte, ließ denn schon 1847 an seine Stelle das von dem Edinburger Frauenarzt Simpson empfohlene Chloroform treten, das seitdem fabrikmäßig hergestellt wird. Seine Bereitung erfolgt aus Chlorkalk und Spiritus, und seine Darstellung ist folgende.

In eine Destillierblase, welche ein Rührwerk und ein Rohr zum Einleiten von Dampf enthält, kommt ein Gemisch von 4 Teilen Chlorkalk, 3 Teilen Alkohol und 13 Teilen Wasser. Nachdem es gut durchgerührt ist, leitet man Dampf ein, bis ein in der Blase passend befestigtes Thermometer 40° zeigt. Jetzt stellt man den Dampfzufluß ab und hört bei 45° mit dem Rühren auf, worauf die Temperatur allmählich von selbst infolge der chemischen Reaktion auf 60° steigt. Es beginnt jetzt das Chloroform überzudestillieren, das in einer Kühlschlange verdichtet wird, bald kommt aber ein Gemisch von Alkohol und Chloroform, was man daran erkennt, daß auf Wasserzugabe zum Destillat sich Chloroform als schweres Öl abscheidet, schließlich kommt nur noch ganz verdünnter Alkohol, der für sich aufgefangen wird und später an Stelle von Wasser zum Verdünnen einer neuen Portion Alkohol dient. Das Rohchloroform wird mit Wasser gewaschen, welches den Alkohol löst, so daß es sich frei von diesem zu Boden setzt. Zu seiner Reinigung wird es sodann aus einer kupfernen Retorte nochmals destilliert. Zur Herstellung von 100 kg Chloroform sind durchschnittlich 325 kg Chlorkalk mit einem Gehalt von 30% an wirksamem Chlor und 100 kg Alkohol erforderlich. Die Ausfuhr an Äther und Ätherpräparaten aus dem Deutschen Reich betrug 1896 272 600 kg, die Ausfuhr an Chloroform 92 300 kg. Die Einwirkung des Chlorkalks auf den Spiritus verläuft in sehr komplizierter Weise, nämlich nach der Gleichung:

$$4C_2H_5OH + 16CaOCl_2 = 2CHCl_3 + 13CaCl_2 + 3(HCOO)_2Ca + 8H_2O$$

Alkohol + Chlorkalk = Chloroform + Chlorcalcium + ameisensaurer Kalk + Wasser.

Die Narkose mittels Chloroform, das der Patient einatmet, indem man ihm eine kleine Maske aufs Gesicht legt, die die Form der Nase hat, deren Wände aber aus Wollfäden bestehen, auf welche man das Chloroform gießt, ist eine sehr tiefe. Aber leider kommt bei ihr auf 2647 Anwendungen bereits ein Todesfall, während 13 160 Äthernarkosen durchschnittlich erst einen solchen ergeben. Daher kehrt man gerade wieder in der Gegenwart mehr zum Äther zurück, verwendet auch Gemische von Äther und Chloroform, ja bei Kindern auch von Alkohol, Äther und Chloroform.

Ein wahrhaft tragisches Geschick ereilte die drei Männer, denen die leidende Menschheit auf dem Gebiete der Chirurgie den größten unterstützenden Fortschritt aller Zeiten verdankt. Wells geriet in so traurige Verhältnisse, daß er sich schließlich im Bade die Pulsadern öffnete und dann, um sich das Sterben zu erleichtern, Äther einatmete. Morton starb ebenfalls in tiefster Armut, und Jackson starb geisteskrank.

Kaum zu übertreffen schien die Wirkung derartiger Narkotika zu sein, und doch ist auch dieses erreicht. Wenn auch bei großen Operationen die Einschläferung des Menschen nötig ist, so hat man heute Mittel, welche, wie erwähnt, nur lokale Anästhesie erzeugen, bei denen also das Gehirn gar nicht in Mitleidenschaft gezogen wird. Das meist benutzte von ihnen ist also das Cocaïn, dessen Darstellung wir ausführlich kennen lernten. Träufelt man eine Lösung von ihm ins Auge oder in den Kehlkopf oder an sonst geeignete Stellen, so werden diese sonst so empfindlichen Teile für einige Zeit völlig gefühllos, so daß man Operationen, die ihren Umkreis nicht überschreiten, ohne jedes Schmerzgefühl für den Patienten vornehmen kann. Auf der äußeren Haut ist es merkwürdigerweise unwirksam.

Auch die Zahnärzte kennen heute kein Chloroform oder Stickoxydulgas mehr. Wenn auch Cocaïn sich nicht für ihre Zwecke bewährt, so verfahren sie jetzt so, daß sie schnell

verdunstende Flüssigkeit, wie Chloräthyl, auf die Umgebung des zu entfernenden Zahns wirken lassen. Die Verdunstungskälte bringt dann eine für ihre Zwecke völlig genügende Empfindungslosigkeit jenes Mundteiles hervor. Das Chloräthyl wird durch Einwirkung von Salzsäure auf Alkohol dargestellt.

$$C_2H_5 \cdot OH + HCl = C_2H_5Cl + H_2O$$
Alkohol + Salzsäure = Chloräthyl + Wasser.

Es ist eine bereits bei 11° siedende Flüssigkeit, die also in der Mundwärme auf das rapideste verdunstet.

Hatte die Entdeckung der einschläfernden Wirkung des Äthers, des Chloroforms u. s. w. das Erstaunen der Welt hervorgerufen, so stand man vielen anderen Erscheinungen auf medizinischem Gebiet nach wie vor geradezu fatalistisch gegenüber, sah in ihnen Vorkommnisse, mit denen man als solchen rechnen müsse. Daß gewisse Krankheiten ansteckend seien, andere nicht, war ein nicht sicher zu erklärendes Faktum; daß in manchem Hospital jede Wunde Veranlassung zu todbringenden Eiterfiebern gab, die in anderen kaum vorkamen, war eine allbekannte Thatsache u. s. f. Auch hier kam die Aufklärung nicht nur, sondern mit ihr zugleich wurde der Weg zur Vermeidung derartiger Übel in den letzten dreißig Jahren gefunden. Man fand bekanntlich, daß Veranlassung der ansteckenden Krankheiten wie des Eiterfiebers und anderer außerordentlich kleine, oft nur mit den stärksten Mikroskopen wahrnehmbare pflanzliche Lebewesen sind, die den Namen Bazillen von ihrer meist stabähnlichen Gestalt erhalten haben, die in der Welt so verbreitet sind, daß sie zum Teil fast überall vorkommen. Daß viele Substanzen für solch zarte Wesen Gift sein werden, hat für uns nichts Wunderbares. Die bewundernswerte Idee, diesen kleinsten Lebewesen ernstlich zu Leibe zu gehen, sie derartig zu vergiften, daß jede Gefahr der Krankheitserregung durch sie ausgeschlossen wird, faßte aber erst der englische Chirurg Lister, den die Arbeiten Pasteurs über die Bazillen zu seinen Untersuchungen angeregt hatten.

Er als Chirurg hatte das größte Interesse daran, das Eintreten des Wundfiebers, an dem bis dahin so viele auf das geschickteste Operierte nachträglich zu Grunde gegangen waren, unmöglich zu machen. Da es nun nicht möglich ist, die Luft, in der die wundfiebererregenden Bazillen vorhanden sein können, von den Wunden abzuhalten, umgab er diese mit Verbänden, die mit bazillentötenden Mitteln getränkt sind. Da man in der Medizin die Fäulnis, z. B. die Bildung übelriechenden Eiters, als Sepsis bezeichnet, bekamen die Mittel gegen derartiges und schließlich gegen jede Art von Fäulnis den Gesamtnamen Antiseptika, und weil nun wiederum alle Fäulnis durch Bazillen veranlaßt wird, versteht man jetzt unter den Antiseptika alle bazillentötenden Mittel.

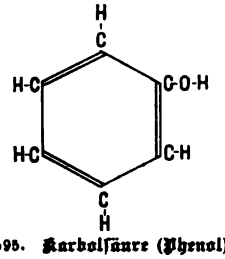
Die Aufgabe der chemischen Industrie ist es nun, diese für unser körperliches Gedeihen, z. B. durch Abhaltung ansteckender Krankheiten, so wichtigen Substanzen zu liefern. Antiseptika gibt es genug, nur gibt es auch viele Fälle, in denen die einzelnen keine Verwendung finden können. Ein ganz vorzügliches Antiseptikum ist z. B. der gebrannte Kalk, aber in der Wundbehandlung ist er, da er ein Ätzmittel ist, trotzdem ganz unbrauchbar, während man die Wände eines verseuchten Raumes mit Kalkmilch aufs beste desinfizieren kann. Ein ganz ausgezeichnetes Antiseptikum ist ferner der Chlorkalk. Bei seinen enorm zerstörenden Eigenschaften an sich kann aber auch er nur unter ganz bestimmten Verhältnissen Verwendung finden. Zu weit mehr Zwecken kann dagegen die Lösung von Sublimat dienen. Sublimat ist Queckfilberchlorid. Seine Darstellung im großen ist folgende: 5 Teile Queckfilber werden in 6 Teilen konzentrierter Schwefelfäure gelöst, wodurch man schwefelfaures Queckfilber erhält. Dieses wird sodann mit Kochfalz gemischt und das Gemisch sublimiert.

$$HgSO_4 + 2NaCl = HgCl_2 + Na_2SO_4$$
Schwefelfaures Queckfilber + Kochfalz = Sublimat + schwefelfaures Natron.

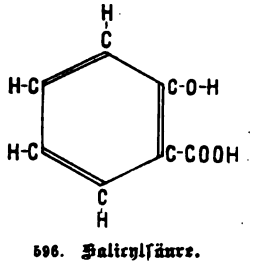
Die Sublimation erfolgt aus weithalfigen Retorten, die unter gut ziehenden Abzügen stehen, damit die außerordentlich giftigen Dämpfe die Arbeiter nicht beläftigen. Gegen den Schluß der Sublimation wird so viel Hitze gegeben, daß das Sublimat zu schmelzen

beginnt. Nach dem Erkalten bildet es dann jene harten Stücke, als welche es in den Handel kommt.

Eine wässerige Lösung von Sublimat von 1 auf 1000 vernichtet in wenigen Sekunden alle Mikroorganismen, eine solche von 1 auf 5000 bewirkt das Gleiche in wenigen Stunden. Seine Geruchlosigkeit repräsentiert in vielen Fällen einen großen Vorzug vor der schon von Lister eingeführten Karbolsäure, deren Gewinnung wir bei der Teerdestillation kennen lernten. In wässeriger 3prozentiger Lösung vernichtet auch diese binnen wenigen Minuten die Mikroorganismen, selbst ihre widerstandsfähigsten Sporen vernichtet eine 5prozentige Lösung von ihr in 24—48 Stunden, und schon $^1/_2$prozentige Lösung behindert die Mikroben im Wachstum.



595. Karbolsäure (Phenol).



596. Salicylsäure.

Chemisch sehr nahe der Karbolsäure steht die Salicylsäure, sie ist um ein CO_2, das ist doch die Zusammensetzung der Kohlensäure, reicher als diese. Ihren Namen hat sie daher, daß sie zuerst in der Rinde der Weide (Salix) aufgefunden wurde. Ihre Geruchlosigkeit und Ungiftigkeit lassen sie so recht als Antiseptikum für die Küche erscheinen, in der sie das Verderben von Nahrungsmitteln, die längere Zeit aufbewahrt werden sollen, hindern hilft. Durch diese beiden negativen Eigenschaften bietet sie überhaupt dem Publikum solche Annehmlichkeiten, daß dieses sie für viele Zwecke mit Vorliebe benutzt. Allgemein zugänglich wurde sie erst durch das Verfahren von Kolbe, welches sie aus der Karbolsäure künstlich herzustellen gestattet. Seine Methode ist aber hernach derartig übertrumpft worden, daß heute niemand sie mehr nach ihr darstellt. Man kam nämlich dahinter, daß man nur aus Karbolsäure karbolsaures Natron herzustellen braucht, und dieses mit Kohlensäure in einer Kohlensäurebombe (das sind jene Flaschen, in denen die flüssige Kohlensäure jetzt verschickt wird) zu erhitzen nötig hat, um es in salicylsaures Natron überzuführen.

$$C_6H_5ONa + CO_2 = C_6H_4{<}^{OH}_{COONa}$$

Karbolsaures Natron + Kohlensäure = salicylsaures Natron.

Selbst dieses Verfahren ist aber noch dadurch überholt worden, daß sogar die Überführung der Karbolsäure in ihr Natronsalz unnötig wird. Nach dem deutschen Patent 78 708 ist es nämlich nur erforderlich, die Karbolsäure innig mit Pottasche zu mischen und auf dieses Gemisch die nötige Menge Kohlensäure in einem geschlossenen Gefäße bei Temperaturen zwischen 130 und 160° einwirken zu lassen, worauf im Laufe von $^1/_2$ Stunde die Einwirkung bereits vollendet und die Karbolsäure nach der Gleichung

$$2C_6H_5OH + K_2CO_3 + CO_2 = 2C_6H_4{<}^{OH}_{COOK} + H_2O$$

Karbolsäure + Pottasche + Kohlensäure = salicylsaures Kali + Wasser.

in Salicylsäure verwandelt ist. Um ein Zusammenbacken des Gemisches von Karbolsäure und Pottasche, welches seine Durchdringung mit Kohlensäure hindern würde, zu vermeiden, setzt man ihm eine größere Menge Kieselguhr zu, bevor die Kohlensäure zur Einwirkung gelangt. Der Preis der Salicylsäure ist in den letzten Jahren von 12 Mark auf 3 Mark für 1 kg zurückgegangen.

In den Destillationsprodukten des Steinkohlenteers sind außer der Karbolsäure eine Reihe ihr ähnlicher Körper vorhanden, welche ebenso antiseptisch wie sie sind, aber, weil sie im Wasser unlöslich sind, weit weniger brauchbar als diese erschienen. Man fand später jedoch, daß, wenn diese Destillationsprodukte auch im Wasser unlöslich sind, sie sich dagegen in Seifenwasser lösen, so ist Lysol eine Lösung von solchen Stoffen in Seifenwasser. Die eleganteste dieser Flüssigkeiten ist aber wohl das Antiseptikum Solveol. Dies wird nämlich durch Auflösen von reinem in Wasser unlöslichen Kresol (d. i. Methylphenol) in einer wässerigen Lösung von salicylsaurem Natron erhalten.

Weiter finden auch Stoffe, die zur organischen Chemie zählen, ohne Steinkohlenteerderivate zu sein, als Antiseptika Verwendung. Zu ihnen gehört das massenhaft gebrauchte Jodoform, das trotz seines durchdringenden, vielen geradezu widerlichen Geruchs bei den Chirurgen wegen der Zuverlässigkeit seiner Wirkung besonders beliebt ist und daher in großen Mengen in chemischen Fabriken hergestellt wird.

Seine Darstellung erfolgt entweder auf rein chemischem Wege, oder unter Zuhilfenahme der Elektrolyse. So arbeitet man in einer französischen Fabrik in folgender Art: Man löst 50 Teile Jodkalium, 6 Teile Aceton (s. S. 505) und 2 Teile Ätznatron in 2 l Wasser und fügt langsam unterchlorigsaures Natron (s. S. 399) hinzu. Das sich augenblicklich bildende Jodoform fällt als schwere Masse zu Boden und wird durch Umkristallisieren gereinigt. Der Chemismus ist zu kompliziert, um sich an dieser Stelle zur Wiedergabe zu eignen, ebenso wie der des in Deutschland in Anwendung stehenden elektrolytischen Verfahrens. Für dieses löst man 50 kg Jodkalium in etwa 300 l Wasser und setzt zur Lösung etwa 30 kg 96prozentigen Alkohol. Durch diese Flüssigkeit wird unter Anwärmen und fortwährendem Einleiten von Kohlensäure der elektrische Strom geleitet, worauf sich das Jodoform sofort in reinem kristallisierten Zustande abscheidet.

Das Jodoform hat die Formel CHJ_3 und enthält danach 90,7 % Jod. Die chemischen Fabriken haben nun die verschiedensten anderen an Jod sehr reichen Verbindungen, die alle vor dem Jodoform den Vorzug der Geruchlosigkeit haben sollen, den Chirurgen zur Verfügung gestellt, deren Wirkungen zum Teil sicher auch sehr gute sein werden, von denen aber keines bisher das Jodoform zu verdrängen vermochte.

Nachdem wir nunmehr die wichtigsten Alkaloide, neueren Heilmittel und Antiseptika nebst ihrer fabrikmäßigen Darstellung kennen gelernt haben, verlassen wir wieder das Gebiet der chemischen Industrie, das sich mit Lieferungen für die ärztliche Kunst befaßt.

Das Petroleum.

An manchen Stellen der Erde quellen Öle aus dem Boden, ohne daß die Menschen bis in die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts viel Vorteil aus ihnen zu ziehen gewußt hätten. Herodot berichtet z. B., daß man das Erdöl der Insel Zante zum Einbalsamieren von Leichen verwende, ja nach Dioscurides benutzten die Bewohner von Agrigent auf Sizilien dort vorkommendes Erdöl zur Beleuchtung. Wenn im Mittelalter von ihm berichtet wird, so dient es diesen Berichten zufolge entweder als Wagenschmiere oder unter dem Namen Oleum petrae als Medikament. Noch der Chemiker Libavius behandelte in seinem im Jahre 1601 erschienenen Buche Erdöl, Bernstein, Walrat, Steinkohle, Mumien und ähnliches als wesentlich zusammengehörige Dinge.

Der erste, der es unternahm, nach Erdöl zu bohren, es also in der Tiefe aufzusuchen, ist der Amerikaner Drake gewesen. In der Gegend von Titusville war er mit seinem Bohrloch am 27. August 1859 bis auf 22 m Tiefe gekommen, als dieses plötzlich täglich beim Auspumpen 4000 l Öl lieferte. Der amerikanische Unternehmungsgeist wandte sich sofort dieser neuartigen Erscheinung zu, und als hierauf Funk im Februar 1861 das Glück hatte, einen Brunnen zu erbohren, aus welchem das Erdöl gar freiwillig ausfloß, nahm dessen Industrie einen gewaltigen Aufschwung.

Im Jahre 1865 war dann Venango County in Pennsylvanien der am meisten Öl liefernde Distrikt, 741 Bohrlöcher lieferten das Rohöl, und die Zahl der die Erdöle reinigenden Raffinerien in Nordamerika betrug 194, sie zahlten in dem Halbjahr 30. Juni 1865 bis 1. Januar 1866 bereits an Steuern 2794023 Dollar. Die beste Sorte Leuchtöl führte damals schon den Namen „standard white“.

Die Erscheinungen, welche man an den amerikanischen Petroleumbohrlöchern beobachtet, haben zu der Annahme geführt, daß das Erdöl meist nur in Spalten, Rissen und Höhlungen des Gesteins auftritt, und daß in diesen Räumen zu unterst Wasser, darüber das leichtere Petroleum und über diesem Gas sich befindet. Bilden diese Räume jeder für sich eine abgeschlossene, nicht durch Risse und Klüfte im Gestein untereinander verbundene Ablagerung, wie sie in der Abbildung dargestellt ist, so werden sich, je

nachdem das Bohrloch auf Gas, Petroleum oder Wasser trifft, verschiedene Erscheinungen zeigen.

Trifft man auf Gas, so wird dieses, falls es unter starkem Druck steht, womöglich das Bohrgestänge aus dem Bohrloch herausschleudern. Die Gasmengen können sehr großen Quantitäten entsprechen, und in der Gegend von Pittsburg dienen solche Gasbrunnen zur Beleuchtung der Städte und Häuser nicht nur, sondern auch zum Betrieb von Eisenwerken und industriellen Unternehmungen aller Art. Von ihrer Menge geben wohl am besten die Zahlen einen Begriff, welche die Abnahme des Kohlenverbrauchs in den Vereinigten Staaten infolge der Verwendung von Naturgas angeben.

Die Abnahme betrug:

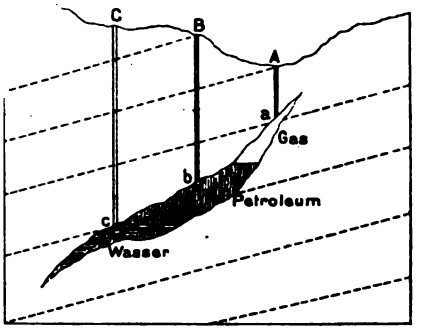
Jahr	Tonnen à 1000 kg	Jahr	Tonnen à 1000 kg
1885	2 839 000	1887	8 942 000
1886	5 850 000	1888	12 759 000

Seit 1889 scheint aber die Menge des Naturgases allmählich zurückzugehen.

Trifft das Bohrloch das Erdöl, so wird es entweder aus dem Bohrloch von selbst durch das Gas hinaufgepreßt, in den meisten Fällen aber heraufgepumpt werden müssen, während andere Bohrlöcher wieder anfangs Wasser und hernach erst Petroleum liefern werden.

Die Produktion an ihm gestaltete sich in den ersten Jahren folgendermaßen:

Jahr	Fässer	Jahr	Fässer
1859	82 000	1864	2 116 100
1860	500 000	1867	3 347 300
1861	2 113 600	1868	3 715 700
1862	3 056 600	1869	4 215 100
1863	2 611 300		



597. Petroleumquelle.

Schon im Jahre 1873 besaß man Rohrleitungen in den Ölgegenden, um die Ergebnisse der Bohrlöcher auf die billigste Art nach den nächsten Eisenbahnstationen zu schaffen. So bei Pittsburg eine solche von 40 englischen Meilen Länge. Doch sollte auch deren Ausdehnung bald eine noch ganz andere werden. Das Netz, welches die Ölquellen mit den Raffinerien von Pittsburg, Cleveland, New York, Philadelphia, Buffalo und Baltimore jetzt verbindet, ist ungefähr 10000 km lang. Die Entfernung Memel-Köln sei als Vergleich hier angegeben, sie beträgt auf dem Eisenbahnwege etwa 1400 km. Außerdem sind aber noch vier Rohrleitungen von 15 cm Durchmesser vorhanden, welche das Öl nach den Häfen des Atlantischen Ozeans führen. Diese Leitungen gehören alle der Standard Oil Company, welche an 100000 Arbeiter beschäftigt und täglich 25000 Faß Petroleum fertigstellt. Diese große Vereinigung der amerikanischen Ölproduktion hat ein Deutscher Namens Rockefeller zustandegebracht. Nach amerikanischen Berichten soll zur Zeit sein Einkommen stündlich 6000 Mark betragen. Die Leitungen kreuzen die Flüsse, die Eisenbahnen, die Landstraßen und liegen zumeist frei. Nur wo sie den Verkehr stören würden, liegen sie in der Erde. Ihr Betrieb entspricht ganz dem von Wasserleitungen, indem Dampfpumpen das Öl durch sie hindurchpressen.

Ausführliche Mitteilungen über die Verarbeitung des amerikanischen Rohöles verdanken wir Höfer. Sie besteht in einer Raffination desselben, die mit Hilfe fraktionierter Destillation erfolgt.

Das Rohöl ist bekanntlich ein Gemisch einer sehr großen Anzahl von Kohlenwasserstoffen. Im Durchschnitt enthält es 85 % Kohlenstoff und 15 % Wasserstoff.

Durch die Destillation des Rohöls gewinnt man

1. Rohnaphta { Gasolin und Naphta, Benzin,
2. Raffiniertes Petroleum,
3. Teer.

Die Raffination erfolgt in der Art, daß das Rohöl selbstthätig in die Destillierblase fließt, die cylindrisch geformt, etwa $2^1/_2$ m hoch ist und $10^1/_2$ m im Durchmesser hat. Als Feuerung benutzt man entweder Kohlen oder Rohnaphta. Als Kühler dienen zumeist einfache Schlangenkühler.

Hat die Temperatur des Rohöls 129° C. erreicht, so geht das Gasolin über, bei 152° folgen die Naphta und Benzin, hierauf folgt das eigentliche Petroleum, mit dessen Auffangen man aufhört, wenn das spezifische Gewicht des Destillats zu hoch wird. Den Rückstand in der Blase läßt man, nachdem er zur Vermeidung von Feuersgefahr genügend abgekühlt ist, als Teer ausfließen.

Das so erhaltene Petroleum muß weiter gereinigt und nochmals destilliert werden, weil es teils noch zu leicht entzündliche Produkte, die Veranlassung zur Explosion der Lampen geben, enthält, teils zu unrein ist und einen unangenehmen Geruch besitzt. Man bringt es zu dem Zweck in einen 9,15 m hohen und 7,32 m weiten Cylinder aus starkem Eisenblech, der innen verbleit ist. Nach Zugabe von konzentrierter Schwefelsäure wird durch die Flüssigkeit Luft gepreßt, welche ein kräftiges Durcheinanderwallen bewirkt, wie es die nebenstehende Abbildung wiedergibt. Nachdem man alsdann die Flüssigkeit wieder einige Zeit der Ruhe überlassen hat, setzt sich am Boden eine schwärzliche, die Verunreinigungen enthaltende Masse ab, welche man durch einen im Boden befindlichen Hahn abfließen läßt. Dann wird das Öl mit Natronlauge und hernach noch mit Wasser gewaschen, so daß die Schwefelsäure völlig entfernt wird. Manche Fabriken bleichen schließlich ihr Öl, indem sie es in flachen Reservoirs unter Glasdächern der Sonne aussetzen.

598. Mischung des Rohpetroleums mit den Waschflüssigkeiten mittels gepreßter Luft.

100 Faß Rohöl liefern bei dieser Art der Behandlung 72—80 Faß raffiniertes Petroleum, 12 Faß Benzin und bis 8 Faß Rückstand, während 5 % in Verlust geraten. Das raffinierte Öl wird, wenn es nicht in Tankwaggons oder Tankschiffen versendet wird, in die bekannten blauen Fässer gefüllt, die innen mit Leim ausgepicht, leer 30 kg wiegen und etwa 180 kg Petroleum fassen.

Im Jahre 1878 begann sich dann die Überzeugung Bahn zu brechen, daß das in Südrußland in der Gegend von Baku gewinnbare Erdöl im stande sein werde, ernstlich mit dem amerikanischen Petroleum zu konkurrieren, eine Meinung, die nunmehr längst ihre Bestätigung erfahren hat.

Die allmähliche Entwickelung der Bakuer Erdölindustrie bis zu dem kolossalen Aufschwung der letzten 20 Jahre ist höchst interessant. Die Quellen in der Nähe Bakus sind auf Ländereien gelegen, welche Rußland im Jahre 1723 von den Persern erwarb. Schon Peter der Große, der einmal diese Ländereien erobert hatte, erkannte den großen Wert dieser Naphtagebiete und ließ Naphta von hier nach Rußland exportieren. Im Jahre 1775 erhielten die Perser aber nochmals das Land zurück, doch wurde es 1806 endgültig wieder erworben. Bis zum Jahre 1823 wurde nur rohe Naphta als Brennmaterial verwertet. In jenem Jahre kam der erste Destillationsapparat in Gebrauch. Im Jahre 1830 betrug die Produktion an Rohnaphta schon etwa 1 600 000 kg und war 1863 auf 5 000 000 kg gestiegen. In diesem Jahre tauchte zuerst amerikanisches Petroleum als billiges Leuchtmaterial massenhaft in Europa auf, und das gab Veranlassung zur Entwickelung der Industrie mineralischer Leuchtöle an allen übrigen dazu geeigneten Stätten der Welt, von denen schließlich Baku alle sonstigen übertreffen sollte. Im Jahre 1872 betrug die Produktion an Rohnaphta etwa 27 000 000 kg. In diesem Jahre entschloß sich die russische Regierung, das bisherige Pachtsystem der Naphtaländer zu verlassen und letztere in kleinen Landanteilen meistbietend an Private zu verkaufen. Statt der Pacht war von jetzt ab eine Accise zu entwickeln, indem für jeden in Thätigkeit

befindlichen Destillierkessel für jeden Tag eine bestimmte Summe an die Regierung zu zahlen war. Während man bis dahin nur die Naphta aus flachen Brunnen mit der Hand geschöpft und das gewonnene Öl in Lederschläuchen auf dem Rücken von Kamelen nach den primitiven Destillationen geschafft hatte, begann man von nun ab, nach Naphta zu bohren. Die erbohrten Quellen gaben zeitweise solch ungeheure Quantitäten Rohöl, daß der Preis der Rohnaphta, der während 20 Jahre etwa 8 Mark für 100 kg betragen hatte, unter 40 Pfennige fiel, ja 1875 war einmal der Preis in Baku 10 Pfennige, und 1887 war er gar nur 4 Pfennige für 100 kg. Im Jahre 1882 gewann man schon 8 Millionen Doppelzentner Rohnaphta, und dementsprechend vermehrten sich auch die Raffinerien.

Im Jahre 1876 befanden sich die Produktionsmittel der Naphtaindustrie bei Baku noch in folgendem primitiven Zustande. Die aus den Quellen geförderte Rohnaphta gelangte in offene Behälter, aus welchen sie ein bis an die Kniee im Öle stehender Arbeiter in lederne Schläuche füllte, in denen sie sodann auf Fuhren in die Fabriken gebracht wurden, die etwa 12 km entfernt lagen. So betrugen damals die Transportkosten bis zur Fabrik etwa $1\frac{1}{2}$ Mark per 100 kg, und da russisches Erdöl nur 40% an Petroleum liefert, durchschnittlich 4 Mark für 100 kg von diesem. Die Destillationsrückstände, für die man noch keine Verwendung herausgefunden hatte, ließ man in der Zeit als wertlos fortlaufen.

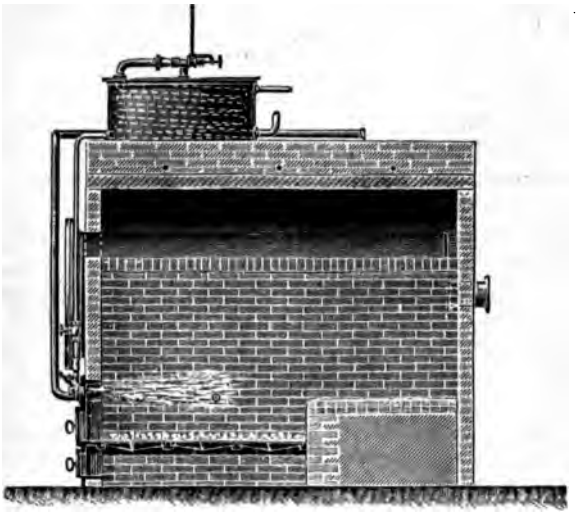
Die Verhältnisse änderten sich von dem Tage, an welchem der Ingenieur Nobel, wir kennen diesen Namen vom Nitroglycerin (s. S. 466) her, seine Kräfte der Ausbeutung dieses Petroleumreviers widmete. Er ließ die Rohnaphta an den Quellen in eisernen Zisternen sammeln und drückte sie nach amerikanischer Art vermittelst Rohrleitungen nach den Fabriken bei Baku. Das in den Fabriken hergestellte Petroleum wird seitdem gleichfalls in eisernen Behältern gesammelt, die so angeordnet sind, daß es selbstthätig in die im nahen Meere verankerten Tankdampfer laufen kann, die es nach Astrachan bringen, von wo aus es in kleine Dampfer gepumpt wird, die es die Wolga hinaufführen. Schon 1882 beschäftigte die Aktiengesellschaft Nobel an 2000 Arbeiter und lieferte täglich an 600000 kg Petroleum. Nobels Methode, das rohe Erdöl in Leitungen zu transportieren, fand bald Nachahmer, und sehr rasch verlor sich die alte ungeschickte Art des Transports.

Seit den neunziger Jahren erfolgt die Verarbeitung des Rohöls auf Verkaufsprodukte meist in folgender Art. Nachdem es eine Zeitlang in Cylindern, die 500 t fassen, gestanden hat, in denen es durch ein Schlangenrohr etwas erwärmt wird, um dünnflüssiger zu sein, hat es seine groben Verunreinigungen abgesetzt. So vorbereitet gelangt es in die Destillierkessel, und hier liefert es 6—7% Benzin, 30—33% Petroleum Nr. 1, 8—10% Petroleum Nr. 2, 45—50% Rückstände und 10—15% Gasverlust. Die Wärme zerlegt das Rohmaterial teilweise in den Kesseln, so daß sich am Boden ein schwerer Absatz bildet, welcher unaufhörliches Rühren erfordert. Deshalb befördert man durch Wasserdampf, der auf 280°—300° erhitzt ist, welchen man in die Destillierblase leitet, die lebhafte Destillation. Aus den größten Kesseln destilliert man 20—25 t Rohmaterial in 12—18 Stunden. Die Destillate müssen wie beim amerikanischen Petroleum chemisch gereinigt werden. Zuerst behandelt man sie mit Schwefelsäure zur Beseitigung von Teer und wäscht dann mit Alkali zur Entfernung der Säure. Das nötige Durchrühren besorgt auch hier ein durch die Masse gepreßter Luftstrom. Der Verbrauch beträgt 0,6 bis 1,5% Schwefelsäure und 0,31% Soda.

Was der russischen Naphtaindustrie dann einen ganz besonderen Aufschwung gab, war die Verwertung ihrer Rückstände. Dieselben sind so bedeutend, daß ein großer Teil von ihnen noch immer sogleich unter Dampfkesseln u. s. w. verfeuert wird, ein sehr bedeutender Teil wird aber jetzt auf Schmieröle verarbeitet. Die Naphtarückstände haben ein spezifisches Gewicht von 0,910—0,912%. Danach eignen sie sich sowohl als Brennmaterial wie als Rohmaterial für Schmieröle, und zwar liefern sie 25% Solaröl, 15% Spindelöl, 30% Maschinenöl, 20% Cylinderöl und 16% Teer. Die Verarbeitung der Rückstände auf diese Produkte erfolgt ebenfalls durch Destillation aus

Kesseln während gleichzeitigen Dampfdurchleitens. Die Dämpfe passieren nach dem Verlassen der Kessel eine Reihe aufrechtstehender U-förmiger Röhren, in denen sich Öl kondensiert, das durch einen im Boden angebrachten Überlauf abfließt. So liefert diese Art Kühlung, indem sich in den ersten U-Röhren natürlich die höchstsiedenden Produkte kondensieren, sogleich die ganze Reihe der Öle. Ein Kessel verarbeitet täglich 6000—8000 kg Rohmaterial und verbraucht an Dampf, der auf gegen 300° erhitzt wird, so viel, wie eine 10pferdige Dampfmaschine erfordern würde. Der rückständige Teer dient als Brennmaterial. Die Destillate erfordern zu ihrer ebenfalls notwendigen chemischen Reinigung 3,5 % Säure und 1,5 % Soda.

In welcher Weise die flüssigen Brennmaterialien verfeuert werden, zeigt uns z. B. eine von Meyer in Hannover-Hainholz für solche Zwecke ausgeführte Anlage. Es dient hierzu ein düsenförmiger oberhalb der Feuerung angebrachter Strahlapparat, welcher die Zerstäubung des von oben zugeführten flüssigen Brennmaterials mittels eines Dampfstrahls besorgt und den äußerst fein verteilten flüssigen Brennstoff in Staubform direkt in den Verbrennungsraum treibt. Zur Inbetriebsetzung werden Werglappen oder ähnliches auf dem Rost entzündet. Indem der Brennstoff aus einem oberhalb der Feuerung stehenden Reservoir zugeführt wird, hat man ihn infolge des Anwärmens stets von der nötigen Dünnflüssigkeit. Die Rückstände der Naphtadestillation zu Baku nennen die tatarischen Arbeiter Massud, die Russen Astatki, und ihr Heizwert beträgt nahezu das Doppelte von dem eines gleichen Gewichtes an Steinkohlen. Man verbrennt sie auf den Wolgadampfern und in den Lokomotiven der dortigen Bahnen, aber ebensogut dienen sie zum Ausschmelzen des Kupfers hoch oben im Kaukasus, wo man sie in Rohrleitungen auf gewaltige Höhen hinaufdrückt u. s. w. Neuerdings spielen sie auch in den Kriegsmarinen eine Rolle. Rußland, Italien, England und Deutschland verwenden schon große Mengen flüssigen Brennmaterials. Für Torpedoboote eignet es sich aus folgenden Gründen ganz besonders. Verschlackung der Roste und die Folgen forcierter Feuerung, welche den Ort der Torpedos verraten, wie Funkensprühen und Austritt der Flamme aus dem Schornstein, werden vermieden. Weder die Kesselwände noch die Heizrohre werden angegriffen, weil die Erdölrückstände keine nennenswerte Menge Schwefel enthalten, und sind die Ölzerstäuber richtig eingestellt, so ist es möglich, ohne Änderung tagelang die gleiche Spannung im Kessel zu erhalten.



599. Verfeuerung von flüssigem Brennmaterial.

Wie massenhaft Erdöl in der Bakuer Gegend vorkommt, ergibt sich aus der Leistung mancher Fontänen. Die größte von ihnen ist wohl im Januar 1891 angebohrt worden, und es scheint nicht unangebracht, über sie hier einige Mitteilungen zu machen. Man hatte schon lange die Einrichtung im russischen Erdölrevier getroffen, daß, wenn das Erdöl fontänenartig aus Bohrlöchern sprang, man die Brunnen sofort schließen konnte, um nun durch eine Rohrleitung das Erdöl allmählich austreten zu lassen und so den Verlust desselben zu vermeiden. Die über dieser größten aller Fontänen angebrachte große Verschlußkappe wurde aber im Laufe von drei Tagen, ungeachtet ihrer soliden Konstruktion, von dem Naphtastrahl durchbohrt, der darauf zu enormer Höhe emporsprang. Sie war aus etwa 8 cm starkem Gußeisen, wie sich Verfasser überzeugte, der sie im Museum zu Tiflis sah. Mit der Naphta kamen Sand und Steine, und der Wind führte den Naphtaregen weithin.

Tag und Nacht suchten hierauf an 1000 Arbeiter einen Wall um die Fontäne herzustellen, und zugleich einen neuen Kappenverschluß anzubringen. Trotz der vieljährigen Übung der Techniker und Arbeiter auf diesem Gebiete wollte das lange nicht gelingen. Wie viel sie anfangs auswarf, ist nicht zu berechnen gewesen. Später füllte sie pro Tag die vorhandenen Reservoire mit 50 000 Doppelzentnern, ohne daß das die Grenze ihrer Leistung war. Ungeachtet dieser ungeheuren Ausbeute meinte man aber, daß diese wütende Fontäne ihren Besitzern nur Verluste und Mühen bringen würde, da die Ausgaben für ihre Nutzbarmachung gar zu hoch gekommen waren, und eine ganze Anzahl benachbarter Bohrlöcher wegen der Überschwemmung durch dieses Erdöl ihre Thätigkeit einstellen mußten.

Die Petroleumgewinnung im Kaukasus betrug:

Jahr	Tonnen zu 1000 kg			Tonnen zu 1000 kg	
1892	4800000	Rohöl	entsprechend	1920000	Leuchtöl
1893	5000000	"	"	2000000	"
1894	5000000	"	"	2000000	"
1895	5800000	"	"	2320000	"
1896	6900000	"	"	2760000	"

Außer in Nordamerika und in Rußland in der Gegend von Baku kommt Erdöl noch an vielen Stellen der Welt vor, wenn auch keine an Ergiebigkeit an diese im entferntesten heranreicht. Von ihnen wollen wir nur noch die zwei deutschen Fundstellen als für uns von besonderem Interesse erwähnen. Anfang der achtziger Jahre erregte das Erdöl von Ölheim bei Peine im Hannöverschen viel Aufsehen. Viel Freude hat man an ihm nicht erlebt, und die Aktiengesellschaft, die zur Ausbeutung des Vorkommens gegründet wurde, hat sehr schnell ihr Kapital verloren. Dagegen haben wir eine kleine Erdölindustrie zu Pechelbronn im Elsaß. Hier erhielt ungefähr im Jahre 1740 der griechische Arzt Damascenus Erynis das Recht zum Graben auf Erdpech gegen Erlegung von 21 Gulden und 40 Kreuzer. In den Jahren 1745—49 wurden etwa 173 Zentner Wagenschmiere, 4 Zentner Schiffsteer, 1 Zentner schwarzes Öl und 2 Pfund klares Öl gewonnen. Nach mehrfachem Besitzwechsel kam das Werk 1768 in den Besitz des Franzosen Lebel, der Anfang des Jahrhunderts ungefähr 100 Leute beschäftigte. Die Familie desselben überließ Ende der achtziger Jahre das Werk einer Gesellschaft, die eine Raffinerie zum Verarbeiten von 12 000 t Rohöl gebaut hat, denn mit Hilfe von Bohrungen gelingt es, auch dort größere Quantitäten Rohöl zu gewinnen, so gab im Jahre 1890 eine frisch erbohrte Quelle in 24 Stunden 10 000 l von ihm.

Während die Rückstände des russischen Erdöls auf Schmieröle verarbeitet werden, sind die des amerikanischen Rohöls nach dem Abdestillieren des Petroleums weit zähflüssiger, ja oft schon fast salbenartig, und werden auf Vaselin verarbeitet. Dies geschieht in folgender Weise. Die mit Dampf erwärmten Rückstände werden kräftig mit Schwefelsäure durchgearbeitet, worauf diese nach dem Absetzen ablaufen gelassen und ihr Rest durch Sodalösung neutralisiert wird. Schließlich werden alle Chemikalien durch vieles Waschen mit Wasser entfernt. Die Entfärbung der Rückstände wird sodann durch ihr Behandeln mit Knochenkohle erreicht. Doch ist die Fabrikation, namentlich ihr Entfärben, nicht so leicht durchführbar, als es nach der Beschreibung scheinen mag, und so hat man denn auf anderem Wege billigeres Vaselin hergestellt. Man hat nämlich ein dem Vaselin möglichst ähnliches Gemisch so fabriziert, daß man festes Paraffin in einem gut gereinigten flüssigen Destillat des Erdöls auflöst und auf diese Art die kostspielige und schwierige Reinigung der Petroleumrückstände umgeht.

Man nimmt z. B. ein Mineralöl von der Dichte 0,840—0,850, reinigt es mittels Schwefelsäure und Soda und destilliert es nochmals mit überhitztem Wasserdampf. Das Destillat wird sodann in einem Drehcylinder mit 10 % Chlorzink 24 Stunden durchgearbeitet, sodann von diesem abgelassen und mit einer zweiprozentigen Lösung von unterschwefligsaurem Natron vermittelst Luft gut durchgemischt. Nach reichlichem Waschen mit Wasser kommt man schließlich so zu einem farblosen und geruchlosen Fabrikat. Das Paraffin hinwiederum kommt in einen doppelwandigen Kessel, in dem es durch den zwischen der Doppelwand zirkulierenden Dampf eingeschmolzen wird, worauf man ihm das gleiche

Gewicht an Mineralöl sowie 10 % Knochenkohle zusetzt und den Kessel schließt, in welchem die Mischung nun unter Druck eine Stunde lang auf 150° erhitzt wird. Aus diesem Kessel gelangt das Gemisch in eine Destillierblase, aus der es bei starker Luftverdünnung abdestilliert wird, worauf das so erhaltene Destillat fertiges künstliches Vaselin ist.

Alles Handelspetroleum muß heute bestimmten Ansprüchen hinsichtlich seiner Feuergefährlichkeit entsprechen, wenn es unbeanstandet in den europäischen Staaten zugelassen werden soll. Bis zum Jahre 1876 wurde nicht besonders über seine Feuergefährlichkeit geklagt. Damals ging der Petroleumpreis stark in die Höhe, und nun mischten einzelne Fabrikanten ihr Petroleum mit Destillaten, die eigentlich zum Petroleumbenzin gehörten. Infolge der Leichtflüchtigkeit dieser letzteren mehrten sich jetzt die Explosionen von Petroleumlampen in schreckenerregender Weise; der englische Sachverständige Chandler schätzte die durch solche Explosionen in den siebziger Jahren herbeigeführten Verluste an Menschenleben auf Tausende und die mit ihnen oft verbundenen Feuersbrünste auf Millionen an Wert. Die Verhältnisse wurden noch bedrohlicher durch die 1878 entdeckten sehr ölreichen Distrikte von Bradford. Das Rohöl dieser Gegend liefert weniger eigentliches Petroleum als sonstiges amerikanisches Erdöl. Um jedoch dieselbe Ausbeute an ihm zu erzielen, ließen hier die Fabrikanten Teile der Destillate, die sonst als Benzin aufgefangen wurden, ebenfalls beim Brennöl.

600. Petroleumprober nach Abel.

Hinsichtlich der Feuergefährlichkeit des Petroleums sind zwei Punkte zu unterscheiden. Erwärmt man Petroleum, so gibt es bald Dämpfe aus, die, wenn man ihnen eine Flamme nähert, sich an dieser entzünden, aber gleich wieder erlöschen, ohne daß das Petroleum selbst in Brand gerät. Diesen Punkt bezeichnet man als Entflammungspunkt. Der Entzündungspunkt des Petroleums liegt dagegen meist 5—12° höher, bei ihm fängt das Öl als solches zu brennen an.

Zur Feststellung des Entflammungspunktes sind eine große Anzahl Apparate konstruiert worden, von denen der Abelsche Prober seitens des Deutschen Reiches für diese Untersuchungen speziell vorgeschrieben ist. Auch die Art seiner Benutzung ist gesetzlich festgelegt, und die Anordnungen sind so penibel, daß ihre Wiedergabe hier als kaum verständlich zwecklos wäre. Mit seiner Hilfe bestimmt man also auf das genaueste, bei welcher Temperatur eine kleine Zündflamme die aus dem erwärmten Petroleum aufsteigenden Gase zur Entflammung bringt. Gewöhnliches Petroleum darf dem Gesetz zufolge bei einer Erwärmung auf weniger als 21° des hundertteiligen Thermometers und bei einem Barometerstande von 760 mm keine aufflammbaren Dämpfe entweichen lassen, wenn es im Deutschen Reiche zugelassen werden soll.

Die letzte ausführliche Statistik über Petroleum und Naphtagewinnung in der ganzen Welt rührt aus dem französischen Ministerium her und zeigt folgende Zahlen, die wir hier wiedergeben wollen:

Staaten und Gebiete	Produktionsjahr	Produktion in Tonnen à 1000 kg N = Naphta P = Petroleum	Gesamtwert der Produktion in Frank	Durchschnittswert für 1 Tonne in Frank
Ver. Staaten von Nordamerika	1893	P 6 236 000	149 869 000	24,03
Rußland	1891	N 4 880 000	nicht bekannt	
Großbritannien und Irland	1893	P 260	12 300	46,62
Kanada	1892	P 100 000	5 091 000	50,91
Österreich-Ungarn	1891	P 88 000	7 665 000	87,10
Deutschland	1893	P 14 000	963 000	69,00 (?)
Italien	1893	P 2 650	795 000	299,79
Japan	1890	P 6 700	941 000	140,00

Die aus dem Januar 1897 stammenden Angaben über das noch immer die Welt hauptsächlich beherrschende amerikanische Petroleum ergaben folgendes. In Amerika war die Erschließung neuer Quellen im Jahre 1896 eine äußerst lebhafte, wurden doch insgesamt in den Öldistrikten von Pennsylvanien, Ohio und Indiana 13 450 neue Quellen erbohrt gegen 12 906 in 1895, 7 425 in 1894 und 4 103 in 1893. Von den Neubohrungen des Jahres 1896 blieben 2 619 trocken, lieferten also gar keinen Ertrag. Durch die zahlreichen Bohrungen überstieg aber schließlich die Tagesproduktion den Tagesbedarf um 10000—12000 Faß, und so war der Preis pro Faß durchschnittlich 18 Cents niedriger als 1895. Im Jahre 1896 betrug die Ausfuhr an Petroleum und Petroleumprodukten 931 785 622 Gallonen (3,24 l), davon Leuchtöl 749 305 854 und Schmieröl 50 629 143 Gallonen im Werte von 62 764 278 Dollar gegen 853 127 130 bezw. 894 862 155 Gallonen in den Jahren 1895 und 1894.

Die Verflüssigung der Gase und der Luft.

Die Verflüssigung eines Gases, nämlich des Chlorgases, haben wir bereits S. 402 besprochen. Es läßt sich schon durch starkes Abkühlen allein in den flüssigen Zustand überführen, und die Hauptschwierigkeit seiner Darstellung beruht auf seiner ausnehmenden Giftigkeit für den Menschen, also für die mit seiner Herstellung beschäftigten Arbeiter.

Eine bedeutende Ausdehnung hat bei der Vielseitigkeit ihrer Verwendungsmöglichkeit bisher nur die Industrie der Verflüssigung des kohlensauren Gases erreicht. Inzwischen ist es aber im Jahre 1897 Linde erstaunlicherweise gelungen, auch Luft in beliebigen Quantitäten zu verflüssigen, und weil es ferner möglich zu sein scheint, auf diesem Wege zugleich einen von Stickstoff ziemlich freien flüssigen Sauerstoff aus der Luft zu gewinnen, ist hiermit vielleicht die wichtige Frage der Herstellung billigen Sauerstoffs gelöst, und in einigen Jahren steht der Industrie die bisher fast nur im Laboratorium herstellbare Glut der heißen mit Sauerstoff angeblasenen Flammen zur Verfügung.

Davy und Faraday haben zuerst gezeigt, daß die meisten Gase sich durch Druck und niedrige Temperatur verflüssigen lassen; sie verflüssigten das Chlor, das Ammoniak, die schweflige Säure u. s. w. Dieser Verflüssigungsmethode widerstanden schließlich nur vier Gase, nämlich der Sauerstoff, der Stickstoff, der Wasserstoff und das Kohlenoxyd, die sich daraufhin noch etwa 50 Jahre der Bezeichnung als „permanente Gase" erfreuen durften.

Den Grund, weshalb diese vier nach der ursprünglichen Methode niemals zu verflüssigen sind, hat erst Andrews im Jahre 1861 aufgedeckt. Er ist, daß jedes Gas seine kritische Temperatur hat, d. h. daß es für dasselbe eine obere Temperaturgrenze gibt, bei welcher auch der stärkste Druck es nicht mehr in den flüssigen Zustand überzuführen im stande ist. Im Jahre 1877 gelang es dann Cailletet in Paris und Pictet in Genf, nach Methoden, die nur wissenschaftliches Interesse bieten und auf die wir hier nicht eingehen wollen, Sauerstoff, Kohlenoxyd und Stickstoff in geringen Mengen für kurze Zeit zu verflüssigen. Diese Versuche haben das Interesse an komprimierten Gasen in den weitesten Kreisen aufs neue und auf das lebhafteste entfacht, und auch die Industrie fing ernstlich an, sich den komprimierten Gasen zuzuwenden. Das industriell Wertvollste von ihnen ist also bisher ohne Zweifel die Kohlensäure, die seit Mitte der achtziger Jahre im flüssigen Zustande in den Handel gebracht wird. Besonders weil sie sich im Bierausschank bewährte, indem mit ihr aus dem Faß gedrücktes Bier bis zuletzt mit genügend Kohlensäure gesättigt bleibt und die Faßneige nicht wie ehemals fade schmeckt, wurde ihr Absatz bald ein sehr bedeutender, und heute gibt es bereits eine große Anzahl von Fabriken zu ihrer Herstellung namentlich im bierfrohen Deutschland.

Anfangs nahm man gern die natürliche Kohlensäure, wie sie die Mofetten der Eifel z. B. aushauchen, deren eine recht alte Verwendungsart zu industriellen Zwecken wir schon S. 408 erwähnten.

So entstand denn eine der ersten Anlagen zu Burgbrohl, wo man seit langem die natürliche Kohlensäure zur Bleiweißfabrikation (s. S. 601) verwendete. Im Jahre 1883 etwa versuchte man durch Herstellung eines Bohrloches die Ausbeute an ihr zu ver-

größern. Als man gegen 50 m tief gekommen war, sprudelte plötzlich Wasser gemischt mit Kohlensäure 13 m hoch hinauf, und zwar lieferte dies Bohrloch jede Minute ungefähr 500 l Wasser und 1500 l Kohlensäure. Um letztere verflüssigen zu können, wurde die Quelle so ummauert, daß das Wasser seitlich abfloß, während die Kohlensäure teils zur Bleiweißfabrik, teils zu den Kompressionspumpen geleitet wurde und ihr Überschuß ins Freie entwich.

Die Kohlensäure wird in jener Fabrik, bevor sie zu den Kompressionspumpen gelangt, noch durch Leiten über Chlorcalcium völlig getrocknet. Nachdem sie im Cylinder der ersten Kompressionspumpe komprimiert ist, wird sie zu ihrer Abkühlung — alle Gase erwärmen sich, wenn man sie zusammendrückt — durch ein in kaltem Wasser liegendes Schlangenrohr geleitet und passiert nun die zweite Kompressionspumpe und wiederum ein kaltgehaltenes Schlangenrohr. Daran schließen sich ohne weiteres jene schweren festen Flaschen, die sogenannten Kohlensäurebomben, in denen sie sich, wenn das Manometer einen Druck von 70 Atmosphären zeigt, als Flüssigkeit ansammelt. Solche Flaschen sind amtlich auf 250 Atmosphären geprüft und haben auch bisher zu Unglücksfällen kaum Veranlassung gegeben. Kurze Zeit nach Inbetriebsetzung der Fabrik zu Burgbrohl wurde nicht weit von dort zu Obermendig eine noch ausgiebigere Kohlensäurequelle erbohrt, welche ebenfalls zur Herstellung flüssiger Kohlensäure Verwendung fand. Im Jahre 1891 gab es schon allein in Deutschland 23 Kohlensäurefabriken, die 3 Millionen kg von ihr fabrizierten. 1893 wurde, abgesehen davon, daß sie den Inlandsbedarf deckte, für 295000 Mark flüssige Kohlensäure, 1894 schon für 382000 Mark nach den verschiedensten Ländern exportiert. Im Jahre 1896 betrug der Export 2826300 kg.

Man hat sich nun bald nicht mehr auf das Komprimieren der natürlichen Kohlensäure beschränkt, sondern ist zu anderen Quellen für sie übergegangen. Als solche dienen hauptsächlich die Kalköfen, wie wir wissen (s. S. 416). Man leitet das aus den Kalköfen abziehende Gasgemisch für diesen Zweck durch eine Pottaschelösung, also eine Lösung von kohlensaurem Kali. Diese geht dann, indem sie die in den Kalkofengasen reichlich vorhandene Kohlensäure absorbiert, in eine solche von doppeltkohlensaurem Kali über, während deren Stickstoff und die sonstigen Bestandteile unabsorbiert entweichen und so entfernt werden. Kocht man aber die Lösung des doppeltkohlensauren Kalis, so gibt sie die zweite Hälfte der Kohlensäure, die sie aufgenommen hat, wieder ab, die in nunmehr reinem Zustande vorhanden ist, welche die Kompressionspumpen verflüssigen, während die Pottaschelösung wieder in den Kreislauf der Fabrikation zurückkehrt.

Außer verflüssigtem kohlensauren Gas sind auch Sauerstoffgas und Wasserstoffgas im komprimierten Zustande käuflich. Diese beiden sind jedoch nicht verflüssigt, sondern in die Bomben, in welchen sie versandt werden, mit 100 Atmosphären Druck hineingepreßt, denn ihre kritische Temperatur liegt so niedrig, daß ihre Verflüssigung unter Druck und gleichzeitiger Abkühlung unter ihre kritische Temperatur, wenn auch im Laboratorium durchgeführt, doch im großen Maßstabe für industrielle Zwecke unausführbar ist. Die kritische Temperatur der Luft liegt, um dies nebenbei zu bemerken, bei -140° C.

Gewaltiges Aufsehen hat in den letzten Jahren auch das Acetylengas erregt. Den Chemikern lange bekannt, hat erst die Elektrochemie die Aufgabe seiner billigen Herstellung gelöst. Schmilzt man nämlich im elektrischen Ofen, d. h. also in der Hitze des elektrischen Flammbogens, Kalk mit Kohle zusammen, so bildet sich eine Verbindung des im Kalk enthaltenen Metalles Calcium mit dem Kohlenstoff, das Calciumcarbid, und dieses gibt, mit Wasser

$$CaC_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2$$
$$\text{Calciumcarbid} + \text{Wasser} = \text{gelöschter Kalk} + \text{Acetylengas}$$

übergossen, neben gelöschtem Kalk Acetylengas, wonach letzteres also sehr bequem herstellbar ist. Zu seiner Verflüssigung bedarf es nur zwei Drittel des Druckes, den die Kohlensäure beansprucht, so daß sie weiter keine Schwierigkeit macht. Wären hierbei nicht einige furchtbare Explosionen vorgekommen, die allerdings bei der nötigen Vorsicht zu vermeiden sind, so wäre es heute wahrscheinlich schon ein großer Handelsartikel. 1000 l von ihm wiegen in flüssiger Form ungefähr 1 kg. Dieses Kilogramm Acetylen liefert

eine Quantität Licht, die 2000 bis 2500 Kerzen in einer Stunde gleichkommt, indem seine Leuchtkraft 24 mal so groß wie die des gewöhnlichen Leuchtgases ist. Doch haben bereits alle Staaten wegen seiner Neigung zum Explodieren die Herstellung von flüssigem Acetylen verboten. Überhaupt scheint die Zukunft des Acetylengases in keiner Weise den übertriebenen Hoffnungen entsprechen zu wollen, die man anfangs auf dasselbe setzte. Wäre das Calciumcarbid chemisch rein, so lägen die Verhältnisse wirklich sehr günstig, aber seine geringen bei der Fabrikation nicht auszuschließenden Verunreinigungen verunreinigen namentlich in Form von Phosphorwasserstoffgas hernach das Acetylengas. Beim Verbrennen liefert ersteres Phosphorsäure, die den Aufenthalt in einem mit solchem Acetylengas beleuchteten Zimmer unmöglich macht. Die Reinigung des Acetylengases nach Art des Leuchtgases, die wir von S. 584 her kennen, ist, weil sich Acetylengas ziemlich reichlich in Wasser löst, in der gleichen oder in ähnlicher Art nicht durchführbar. Man wird daher auf seinen Gebrauch im Freien angewiesen bleiben. So dient es jetzt zur Beleuchtung mancher Bahnhöfe, auch dem Fettgas für die Waggonbeleuchtung soll man es zusetzen, und die Radfahrer brennen das so helle Licht in ihren Laternen.

Wir gehen nunmehr zur Verflüssigung der Luft nach Linde über. Sie stellt wieder einmal einen merkwürdigen Sieg des Geistes über die Materie dar. Man kann jetzt flüssige Luft aus einer Flasche in die andere oder in offene Gläser gießen und in diesen von Hand zu Hand gehen lassen, und so einen Körper seinem Nachbar reichen, der vor Lindes erfolgreichen Versuchen niemals in diesem Zustande auf der Erde existiert haben kann, ein Körper, den die Wissenschaft seit langem für darstellbar erklärte, und der nun als Probe auf diese theoretische Voraussage wirklich dargestellt worden ist.

Folgen wir bei der Wiedergabe der Methode dem Patent Lindes, dessen Gegenstand also eine Erfindung ist betreffend ein Arbeitsverfahren und eine zu dessen Ausübung erdachte Maschine, mittels deren atmosphärische Luft (oder auch andere Gase) verflüssigt werden können, und welche beliebige Mengen von flüssiger Luft im Dauerbetriebe herzustellen gestattet. Die Methode ermöglicht zugleich, wie wir sehen werden, aus der Luft Sauerstoff in gasförmigem oder flüssigem Zustande zu gewinnen.

Läßt man ein Gas unter einem gewissen Druck in einen Raum ausströmen, in welchem ein niedrigerer Druck herrscht, so ist nach den Gesetzen der Thermodynamik die Temperatur des ausgeströmten Gases, nachdem es wieder zur Ruhe gelangt ist, dieselbe, welche ihm vor dem Ausströmen eigen war, solange das Gas vollkommen dem Gesetz von Mariotte und Gay-Lussac folgt. Sobald aber mit einer Volumenvergrößerung ein Verbrauch von latenter Wärme verbunden ist, wird das Gas nach dem Ausströmen eine niedrigere Temperatur zeigen als vorher. Je mehr das spezifische Volumen der Luft durch Druckvermehrung und Temperaturverminderung verkleinert wird, desto erheblicher ist diese Abkühlung. Von diesem gesetzlichen Zusammenhange wird in der abgebildeten Maschine folgender Gebrauch gemacht.

In der Zeichnung stellt C einen Kompressor dar, mittels dessen die Luft vom Drucke p^1 auf den höheren Druck p^2 versetzt wird, wobei sie sich von der Temperatur t^1 auf die Temperatur t^2 erwärmt. Indem die Luft alsdann einen Kühlapparat passiert, in welchem ihr durch Kühlwasser oder durch eine andere verfügbare Kältequelle Wärme entzogen wird, sinkt ihre Temperatur bei konstantem Druck p^2 von t^2 auf t^3.

In diesem Zustande wird die Luft einem möglichst vollkommen funktionierenden und gegen Wärmeaufnahme von außen möglichst gut geschützten Gegenstromapparat G^1 zugeführt und wird beim Durchgang durch denselben aus sogleich ersichtlich werdender Ursache ihre Temperatur weiterhin (auf t^4) herabgemindert. Am Ende dieses Gegenstromapparates G^1 befindet sich nämlich ein Regulierventil R^1, durch welches die Luft in das (ebenfalls sorgfältig gegen Wärmeaufnahme geschützte) Gefäß V^1 ausströmt, woselbst der Druck p^1 herrscht.

Nach dem Ausströmen wird die Luft eine Temperatur t^5 zeigen, welche um so tiefer unter t^4 liegt, je größer die Druckdifferenz $p^2 - p^1$ und je tiefer die Temperatur t^4 ist. Mit der Temperatur t^5 wird nunmehr die Luft in dem Gegenstromapparat G^1 der ankommenden Luft entgegengeführt und wird hierdurch deren Temperatur vor dem Aus-

strömen weiter erniedrigt, so daß die beiden Temperaturen t^4 und t^5 fortdauernd sinken, so lange, bis eine Zuführung von Wärme von außen oder bis ein Freiwerden von Wärme im Inneren den Beharrungszustand herstellt. Das letztere tritt ein, sobald die Abkühlung bis zum Kondensationspunkt der atmosphärischen Luft vorgeschritten ist, indem alsdann eine Verflüssigung beginnt, bei welcher latente Wärme frei wird. Nach eingetretenem Beharrungszustand wird ein ganz bestimmter und sich selbst regulierender Teil der ausströmenden Luft in flüssigem Zustand sich im Gefäß V^1 sammeln, während der übrige Teil durch den Gegenstromapparat zum Kompressor C zurückkehrt. Die im Gefäß V^1 angesammelte Flüssigkeit aber gelangt durch ein zweites Regulierventil R^2 in das Gefäß V^2, in welchem atmosphärischer Druck p^0 herrscht. Bei der Druckreduktion von p^1 auf p^0 verdampft ein Teil der Flüssigkeit, und zwar ein Teil des Stickstoffes. Indem alsdann der Flüssigkeit in dem Gefäße V^2 Wärme dadurch zugeführt wird, daß ein mehr oder weniger großer Teil der vom Kompressor C auf p^2 gebrachten Luft durch die Spirale s strömt, kann die Abdampfung des Stickstoffes beliebig weiter geführt und alsdann durch den Hahn h die verbleibende Sauerstoffmischung (bezw. der reine Sauerstoff) zum Abfluß gebracht werden. Der bei A entweichende Stickstoff tauscht in einem Gegenstromapparat G^2 Wärme gegen die ankommende komprimierte Luft aus. Wenn der Sauerstoff nicht als Flüssigkeit, sondern als Gas gewonnen werden soll, so läßt man die Flüssigkeit durch den Gegenstromapparat G^3 einer dritten Partie der komprimierten Luft entgegenströmen, wobei die zur Verdampfung und Wiedererwärmung des Sauerstoffes erforderliche Wärme der komprimierten Luft entzogen wird. Auf solche Weise wird eine vollständige Wiedergewinnung der zur Abkühlung und Verflüssigung der Luft aufgewendeten Kälte erreicht, und die Maschine hat lediglich die zur Deckung der Verluste erforderliche Kälte zu produzieren.

Zur Füllung der Maschine mit Gas und zum Ersatz des verflüssigten Gases dient die Speisepumpe P.

Das Leistungsverhältnis der vorliegenden Maschine erscheint insbesondere von folgenden Bedingungen abhängig:

Da der Berechnung zufolge die Abkühlung pro Atmosphäre Druckdifferenz nur etwa $^1/_4{}^0$ C. beträgt, so ist der Verflüssigungsprozeß nur unter Anwendung sehr großer Druckdifferenz $p^2 - p^1$ möglich. Die Erfahrung hat gezeigt, daß zur bloßen Deckung der Verluste $p^2 - p^1$ größer als 20 Atmosphären sein muß.

Um trotz solcher großen Druckdifferenzen die erforderliche Kompressionsarbeit innerhalb mäßiger Grenzen zu halten, muß das Druckverhältnis $p^2 - p^1$ möglichst klein gewählt werden. Setzt man beispielsweise $p^2 = 200$ Atmosphären und $p^1 = 100$ Atmosphären, so erhält man eine Abkühlung von etwa 25^0 C. bei einem Arbeitsaufwand, welcher nicht größer ist, als wenn die Luft von einer auf 2 Atmosphären zu komprimieren wäre.

Der ganze Apparat muß, soweit sehr niedrige Temperaturen in demselben herrschen, vollständig in ein gut isolierendes Material eingehüllt werden können, ohne daß bewegte (Triebwerks-) oder unbewegte Teile desselben den atmosphärischen Temperaturen ausgesetzt sind. Die Verbindungen nach außen sollen also lediglich an solchen Stellen der Gegenstromapparate erfolgen, in welchen atmosphärische Temperaturen herrschen.

Die Gegenstromapparate müssen Kanäle mit metallischen Wandungen von sehr bedeutender Erstreckung darstellen, welche nur an ihren Enden metallisch miteinander verbunden sein dürfen und durchweg ihrer ganzen Länge nach in vollkommenster Weise gegen Wärmemitteilung ihrer einzelnen Teile untereinander, sowie gegen Wärmeaufnahme von außen her geschützt sein müssen.

Alle bisher beschriebenen Wärmeaustauschapparate erfüllen die zuletzt angegebenen Bedingungen nicht, dagegen ist das letztere in der vorliegenden Maschine dadurch erreicht, daß, wie Abb. 601 andeutet, diese Apparate aus je 2 Rohren von großer Länge (z. B. von 100 m) gebildet sind, welche ineinander gesteckt, zusammen spiralenförmig aufgerollt und auf hölzernen Spiralstützen montiert sind, und daß durch ein vorzügliches Isoliermaterial (z. B. rohe Schafwolle) die Windungen gegeneinander und nach außen hin so weit isoliert sind, wie dies bei dem gegenwärtigen Stand der Technik erlangbar erscheint.

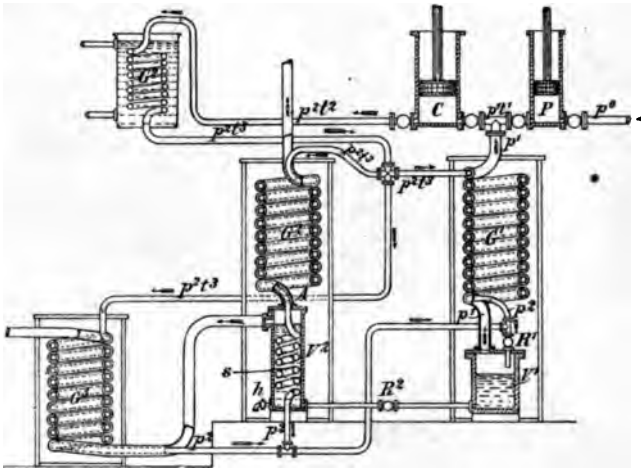
Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß die im Gefäß V^1 erzielten tiefen Temperaturen t^5 auch zu anderen Zwecken als zur Verflüssigung von Gasen dienen können, daß also die vorhandene Maschine ganz allgemein als Kältemaschine für außerordentlich niedrige Temperatur verwendet werden kann.

Die Hinzufügung des zweiten Gefäßes V^2 mit Spiralen s und eines zweiten Gegenstromapparates G^2 ermöglicht also, wie aus der Beschreibung hervorgeht, die Wiedergewinnung der Kälte, welche bei Anwendung des Apparates zur Gewinnung von Sauerstoff aus flüssiger Luft für die Verflüssigung des entweichenden Stickstoffs aufgewendet wurde.

Die Hinzufügung eines dritten Gegenstromapparates G^3 bezweckt die Wiedergewinnung der Kälte, welche auf die Verflüssigung des Sauerstoffs aufgewendet wurde, für den Fall, daß er nicht in flüssigem Zustande die Maschine zu verlassen braucht, sondern als Gas zur Verwendung gelangen kann.

* * *

Wir sind nunmehr in der Betrachtung der Leistungen der chemischen Industrie bis zu den neuesten epochemachenden Erfolgen fortgeschritten, und übersehen wir jetzt nochmals den Inhalt dieses Teiles des „Buches der Erfindungen, Gewerbe und Industrien", so muß es uns auffallen, daß die chemische Industrie fast ganz und gar ein Kind der Neuzeit ist. Erst mit dem Aufkommen des Leblancschen Prozesses der Sodafabrikation als Großindustrie kann man eigentlich von ihr sprechen. Ihre weit älteren Zweige, wie die Farben- oder Seifenfabrikation, waren ehemals roh und empirisch betriebene Handwerke, die mit der Chemie wenig genug zu thun hatten.



601. Karl Lindes Verfahren zur Verflüssigung atmosphärischer Luft.

Fabrikanten haben stets das an sich sicher nicht unberechtigte Bestreben, die Früchte ihrer Intelligenz, ihres Fleißes und ihrer Thätigkeit für sich genießen zu wollen und ihre Spezialverfahren deshalb möglichst geheim zu halten, wozu in vielen Fällen gerade auf dem von uns behandelten Gebiete die Möglichkeit geboten ist. Schließlich sind doch überhaupt Patente sozusagen auch nichts anderes als auf fünfzehn Jahre geschützte öffentliche Geheimnisse.

Hierin vollzieht sich aber bereits ein großer Wandel. Viele wertvollen Patente sind durch ihren Ablauf Allgemeingut geworden, und viele sonstigen Aufgaben der chemischen Industrie sind so vollständig gelöst, daß auch betreffs ihrer das beste Verfahren kein Geheimnis mehr ist. Und so trifft auf manche Abteilungen auch dieser Industrie schon das zu, was Sachverständige von der Herstellung des Roheisens behaupten, denen zufolge man von einer Kunst des Eisenschmelzens im alten Sinne nicht mehr sprechen kann. Denn die Technik des Hochofenbetriebes ist nach ihnen Allgemeingut der Eisenhüttenleute geworden, und die Existenzfähigkeit eines Hochofens ist lediglich durch die wirtschaftlichen Verhältnisse bedingt. Wer weiß, ob es nicht in fünfzig Jahren bereits zahlreiche Zweige der chemischen Großindustrie geben wird, für die das Gleiche gilt, für die jenes geheimnisvolle Etwas, das jetzt viele Gebiete derselben umgibt, gelüftet sein wird, indem man in ihnen im großen und ganzen an der Grenze des technisch Erreichbaren angelangt sein wird.

Namen- und Sachregister.

A = Abbildung, T = Tafel, die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.

Abbe (Glasfabr.) 255.
Abdampfofen f. Alaunlöſung A 355.
Abdampfpfannen f. Konzentration der Schwefelſäure A 380; — f. d. Mutterlauge i. d. Chlorkaliumfabr. A 512.
Abel, Chemiker 464, 473; — Petroleumprober A 638.
Abfälle, tieriſche, als Düngemittel 587.
Abies balsamea, excelsa 573.
Abrichtelauge (Seifenfabr.) 546.
Abrichtemaſchinen f. Steinbearbeitung 21; — Fräskopf A 21; — Sprengſcheiben 21, A 22; — Werkzeughalter A 22.
Abſorber (Ammoniakſodafabr.) A 418.
Abtropfkäſten f. Schmierſalz (Blutlaugenſalzfabr.) A 344.
Academia Caesarea-Leopoldina 302.
Aceton, Gewinnung von 505; — Apparat A 505.
Acetylen, chem. Körper 316.
Acetylengas, Herſtellung 640.
Achat, künſtlicher 259.
Achatglas 250 f.
Adepten (Goldmacher) 297.
Agricola, Georg, Chemiker 299, A 300.
Ägypter: Bauten 8; — chemiſche Kenntniſſe 295; — Glasmacherkunſt 170; Abbildungen von Glasbläſern auf altägyptiſchen Baudenkmälern A 170 f.; — Thonwarenbereitung 87; altägyptiſche Töpfer an der Scheibe arbeitend A 88.
Ägyptiſches Porzellan 100.
Ägyptian (Steinzeug) 147.
Akrolein, chem. Stoff 559.
Alabaſter 7, 62.
Alabaſterglas 185, 251.
Alaunerze 354.
Alaunfabrikation 352; — Alaunkryſtallgruppe A 353; — Alaunfeld mit Röſtofen A 354; — Abdampfofen f. Alaunlöſung A 355; — Waſchen des Alauns A 356.
Alaunmehl 356.
Alaunſchiefer 354.
Alaunſtein 354.
Albertus Magnus, Alchemiſt 297; — Denkmal zu Lauingen A 298.
Albit 149.
Albukaſes, Chemiker 296.
Alcarrazas (Krüge) 140.
Alchemie 296; — im Laboratorium eines Alchemiſten A 297.
Alizarin 623.
Alizarinblau 623.
Alkalien, Begriff der 315.
Alkalien und Säuren 327; — Blutlaugenſalz 332; — Alaun 352; — Kochſalz 358; — Schwefel u. Schwefelſäure 362; — Soda 388; — Salzſäure 394; — Chlor 399; — Chlorkalk 408; — chlorſaures Kali 404; — Wiedergewinnung d. Schwefels 410; — Ammoniakſodafabrikation 415; — die elektrolytiſchen Methoden 423; — Fluor, Brom, Jod 427; — Salpeter u. Salpeterſäure 436; — Exploſivſtoffe 447; — Feuerzeuge, Phosphor 478.
Alkaloide 620.
Alpengips 7.
Alpenkalk 6.
Alſingcylinder (Porzellanfabr.) 150.
Altdeutſche Gläſer 179, A 178; — Öfen 138.
Aluminium, Element 314; — Herſtellung 425.
Aluminiumoxyd 352; — kieſelſaures 352.
Alunit, Mineral 354.
Amalgamation i. d. Goldgewinnung 350.
Ambra 578.
Amerika, Erdölproduktion in 638; — Glasfabrikation 181.
Amethyſt, künſtlicher 258.
Ammoniak 416; — kohlenſaures 536; — einfachkohlenſaures 531; — doppeltkohlenſaures 531; — ſalpeterſaures 537; — ſalzſaures 536; — ſchwefelſaures 531, 534; — unterſchwefligſaures 531; — Gewinnung von, aus Fäkalien nach Chevalet 534, A 535; — Deſtillationsapparat von Pampe 532, A 533.
Ammoniakgas 530.
Ammoniakpulver 475.
Ammoniakſalze 534.
Ammoniakſodafabrikation 415; — Kalkofen mit Vorrichtung zum Abſaugen der Kohlenſäure A 416; — Montejus A 417; — Abſorber A 418; — Rutſchapparat A 419; für Laboratorien A 420.
Ammoniakwaſſer 531, 534.
Ammoniumbikarbonat 416.
Ammoniumnitratpulver 475.
Ammonſalpeter 475.
Amſterdam, Porzellanmarke von 116.
Amygdalin 575.
Andeſin 149.
Andreoli, Giorgio (Töpferei) 92 f.; — Marke des A 92.
Andrews, Chemiker 639.
Andries (Töpferei) 103.
Angußmaſſen (Steingut) 144.
Anhydrit 7, 61 f.
Anilin 609; — Konſtitutionsformeln A 609, 613, 624; — Entdeckung des 310.
Anilin- und Teerfarbenfabrikation 608; — Autoklaven A 611; Sicherheits- und Entlüftungsventil A 612; Manometer mit Ventil A 612; — Thermometer A 612; — Deſtillierblaſe A 612; — Kollergang A 614; — Schmelzkeſſel A 615; — Extraktor A 615; — Planetenrührwerk mit Dampfmantel A 616; — Doppelrührwerk mit Dampfmantel A 616; — Doppelplanetenrührwerk mit Holzbottich A 617.
Anisöl 574.
Anorganiſche Farben 601.
Anorthit 149.
Ansbacher Porzellanmarke 111.
Anthon (Salpeterfabr.) 441.
Anthracen 600; Schema A 608; — Anthracenöl 600.
Antichlor 369.
Antimon, Element 314; — als Glasfärbemittel 201.
Antiphosphorhölzer 491.
Antipyretiſche Wirkungen 624.
Antipyrin 625.
Antiſeptika 630.
Antozon 459.
Antwerpen, Glasinduſtrie in 180.
Apatit 61, 195, 517.
Aquamarin, künſtlicher 259.
Araber, Chemie der 296; — Emaillierkunſt 91; — Töpferkunſt 90.
Aragonit 194.
Aräometer, Anwendung in der Chemie 324, A 324.
Arcet, d', Chemiker 400.
Argandbrenner A 589.
Argeſilaos, Vaſe des A 89.
Argon, Element 314.
Ärgſter (Glas) 179.
Ariſtoteles, Elemente des 295.
Arnoldus Villanovus, Chemiker 297.
Arſen, Element 314.
Arſenik in der Glasfabrikation 200.
Arzneimittel, chemiſche 619.
Asa foetida 563, A 564.
Asbeſt, platinierter 372.
Aſpdin, Joſef (Portlandzement) 50.
Aſpinall, Chemiker 563.
Aſſyrer, Thonwarenbereitung der 88.
Aſtatkit (Naphta) 636.
Aſtbury (Töpferei) 104.
Äthan, chem. Körper 316.
Äther, chem. Körper 627.
Ätheriſche Öle 570; — Deſtillierapparat 570, A 571; — Apparat z. Gewinnung ätheriſcher Öle 570, A 572. — Bologneſer Flaſche 571, A 573; — Harzdeſtillationsanlage 573, A 574.
Äthylen, chem. Körper 316.
Atlasglas 184, 262.
Atomgewicht der chem. Elemente 313 f.
Atropin 620.
Ätzen des Glaſes 271, 438; — einmalige Ätzung A 272; — Flurfenſter, matt geätzt auf ſchwach mattiertem Grunde A 273.
Ätzen der Steine 26.
Ätzkali, Fabrikation durch Elektrolyſe 426.
Ätzkalk 38, 44.
Ätznatron 409, 426; — Schmelzkeſſel A 410; — Eiſentrommel für d. Transport A 410; — Gewinnung durch Elektrolyſe A 426.
Auerſches Gasglühlicht 591.
Aufſchließmaſchine für Phosphate A 521.
Aufwärmemuffeln (Porzellanfabrikation) 166.
Augitporphyr 6.
Aurum muriaticum natronatum crystallisatum 447.
Auslaugen des Satzes (Blutlaugenfabrikation) A 342.
Auslaugebottich mit Dampfzuführung und falſchem Boden (Blutlaugenſalzfabrikation) 340, A 340.
Auslaugevorrichtungen in der Sodafabrikation 392, A 393.
Ausſalzen in der Seifenfabrikation 546.
Ausſchuß (Porzellan) 159.
Ausſoggen (Kochſalzinduſtrie) 361.
Autoklaven 324; — i. d. Teerfarbenfabrikation A 611; — Ventil, Manometer, Thermometer A 612; — für flüſſiges Chlor 402.
Avenarius, R. (Kunſtſteine) 70.
Aventuringlas 254.
Aventuringlaſur 144.
Avenzoar, Chemiker 296.
Avicenna, Chemiker 296.
Avogadro, Chemiker 620.
Azalein 618.

Baco, Roger, Chemiker 297.
Baeyer, Chemiker 309.
Balu, Erdölindustrie von 634.
Balard, Entdecker des Broms 362, 429.
Ballabene, Chemiker 468.
Ballistit, Sprengstoff 472 f.
Ballmaschine für Toilettenseifen A 582.
Balsam 572.
Balsamodendron Myrrha Nees 578.
Bandschneidemaschine f. Steinbearbeitung A 17.
Barberini-Vase 171, A 173.
Barilla (Soda) 358.
Barium, Element 314.
Barium-Phosphat-Crown 257.
Barium-Silikat-Crown 257.
Barkkrüge 101.
Baryt i. d. Glasfabrikation 189, 196; — schwefelsaurer 363.
Baryt-Leichtflint 257.
Basalt 6.
Basaltgut 147.
Basen, Begriff der chemischen 315.
Basische Steine 132.
Baumann (Chemie) 435.
Baumé (Aräometer) 324.
Baumwolle, chemische Definition der 464.
Baumwollsamenkuchen 542.
Baumwollsamenöl i. d. Margarinefabrikation 568; — i. d. Seifenfabrikation 542; — hydraulische Presse für Ölgewinnung A 542.
Baumwollstearin 564.
Bausteine, Bearbeitung der 3; — Geschichtliches, Arten u. Prüfung der Gesteine 3; — Chausseebaumaterial 9; — Verarbeitung der Felsarten 9; — feststehender Maulbrecher A 10; — Steinschlaghammer A 10; — Steinschlaggabel A 10; — Pflastersteine 12; — Steinbrechmaschine A 11; — Steckcylinder A 12; — Steinhauerwerkzeug 12, A 13; — Rauhsteine 14; — Steinkeile 15, A 13; — Spaltkeile 15; — Hausteine 15; — Bandsäge A 17; — Steinhauerwerkzeug 18, 19, A 13; — Fräskopf A 21; — Werkzeughalter A 22; — Sprengscheiben A 22; — Schleif- u. Poliermaschine 24, A 25; — Dachschiefer 27; — Werkzeuge z. Schieferbearbeitung A 27; — Transportvorrichtungen 28, A 29 f.
Bauterrakotta 127.
Bayreuther Thonwaren 99.
Bazilken 680.
Beauval, Sandgrube von 518.
Becher aus Kunkelglas mit Hochschnitt A 251.
Bedrucken der Gläser 269.
Begußglasuren 134.
Beinglas 185, 251.
Beinschwarz 285, 514, 604.
Beizen i. d. Stofffärberei 353.
Beizeisen für Steinbearbeitung 19, A 13.
Bekrönungsziegel 127.
Belgien, Glasfabrikation in 180; — Nachahmung venezianischer Gläser A 180.
Bengraf (Porzellanfabr.) 111.
Benrath (Glasfabr.) 221, 248.
Benzidam 310.
Benzidin 613; — Schema A 613.
Benzin 684.
Benzoëharz 577.
Benzoïn officinale Hayne 577.
Benzol 607; — Schema A 607, 617; — Entdeckung des 311; — Darstellung 599; — Lagerung der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome im B. A 317.
Bergamottöl 574.
Bergamotttinktur 579.
Berggrün, Farbstoff 602.
Bergmann, Chemiker 302.
Bergmilch 194.
Bergtraß 49.
Berka, Peter (Glasfabr.) 178.
Berlin, Gasbeleuchtung in 588; — Porzellanmanufaktur 111, 117; — Porzellanmarke 111, A 112; — Terrakottarelief „Die Industrie" am Rathaus A 127.
Berliner Blau 332; — Fabrikation 347.
Berliner Verein, Mörtelwerke in Niederschönweide, Sandentladestelle u. -stapelplatz der 46, A 45.
Berlin-Veltener Kacheln 138.
Bernart, Jehan (Töpferei) 96.
Bernhard von Trevigo, Chemiker 297.
Beroviero, Angelo und Martino, Glasmacher 175.
Berthelot, Chemiker 309.
Berthollet, Chemiker 305, 399, 474, A 305.
Bertilini, Glasmacher 175.
Bertina, Wilhelm (Kunststeinfabr.) 72.
Beryllium, Element 314.
Berzelius, Chemiker 307, A 307.
Bessemerstahl 526.
Beton 60.
Beuther, Adept 297.
Biberschwänze (Dachziegel) 127.
Bimsstein, Verarbeitung zu Mauersteinen 77.
Biot, Chemiker 308.
Bisdiazokörper 619.
Biskuitbrand (Steingut) 142.
Biskuitglas 251.
Biskuitgut 147.
Biskuitporzellan 159, 161.
Bittermandelöl 575.
Black, Chemiker 302.
Blackhall (Knochenverw.) 514.
Blasige Gesteine 4.
Blasigwerden des Glases 230.
Blaues Glas 248.
Blauholz 604.
Blausäure 315, 349.
Blei, Element 314; — chromsaures 357; — essigsaures 503.
Bleibtreu, Hermann (Zementfabr.) 60.
Bleichen mittels schwefliger Säure 367.
Bleiglanz 363.
Bleiglas 183, 189, 196.
Bleiglasuren 138, 143.
Bleiglätte 197, 503.
Bleikammern für Schwefelsäurefabrikation 376.
Bleikrystall 236.
Bleikrystallglas 191.
Bleililfter 163.
Bleioxyd 561.
Bleiruten (Glasmal.) 280.
Bleiwasser 503.
Bleiweiß (Farbstoff) 601.
Bleiweißfabrikation in Burgbrohl 639.
Bleizucker 443, 503; — brauner 503.
Blockzerteilapparat für Seifen 550, A 549.
Blue clay 142.
Blutlaugensalzindustrie 332; — Schmelzbirne A 333; mit mechan. Rührer A 335; — Flammofen 334, A 334 f.; — Transportwagen für Schmelzen A 336; — Schmelzraum einer Blutlaugensalzfabrik A 337; — Bluttrockenofen A 338; — Einsatzgestell zum Bluttrockenofen mit Trockenblechen A 338; — Ausnutzung der Abhitze eines Bluttrockenofens und Verbrennen der übelriechenden Dünste A 339; — Auslaugebottich mit Dampfzuführung und falschem Boden A 340; — Ausnutzung der Abhitze A 340; — Zentrifuge A 341; — Filtration der Reinlauge A 341; — Krystallform des gelben Blutlaugensalzes A 341; — Auslaugung des Satzes A 342; — Rahmenfilterpresse A 342; — Kollergang A 343; — Laboratoriumsfilterpresse A 343; — Darstellung von Blutlaugensalz mit Hilfe des Stickstoffes der Luft 344; — Abtropfkästen f. Schmierfalz A 344; — Darstellung von Blutlaugensalz aus Gasanstaltsabfällen 345; — Ofen zur Wiedergewinnung der Betriebspottasche A 345; — Berliner Blau 347; — Cyankalium 348; — Stangengußform 348, A 349; — Rhodankalium 351; — das rote Blutlaugensalz 352; Krystallform A 352.
Bluttrockenofen (Blutlaugensalzfabr.) 338, A 338; — Einsatzgestell A 338; — Ausnutzung der Abhitze und Verbrennen der übelriechenden Dünste A 339 f.
Bock, O. (Ziegelfabr.) 128, 130.
Boë Sylvius, de le, Arzt 298.
Boëtius-Öfen (Glasfabr.) 199.
Böhmes Hammer (Zementfabr.) 53.
Böhmen, Glasfabrikation in 178, 183.
Böhmisches Glas A 179; — Krystallglas 235.
Bohrmaschine f. Gesteine 23.
Bologneser Flaschen 185, 571, A 573.
Bombons (Tourills s. d.) 467.
Bontemps (Glasfabr.) 255.
Bor, Element 197, 314.
Borat-Flint 257.
Borax 197.
Boronatroncalcit 197.
Boro-Silikat-Crown 257.
Boro-Silikat-Flint 257.
Bossenquader 19.
Bossierhammer für Steinbearbeitung 19, A 13.
Boswellia papyrifera Höchst 578.
Böttcher (Schießbaumwolle) 460.
Böttger (Feuerzeuge) 491.
Böttger, Joh. Friedrich (Porzellanfabr.) 105, 108 f., A 109; — Böttgerporzellan 109.
Boudineuse f. Toilettenseifen A 582.
Bower Porzellan 116.
Boyle, Robert, Chemiker 302, A 302, 485.
Bradford, Erdöl von 638.
Brandt, Entdecker des Phosphors 483.
Brauerpech 573.
Braunkohlenthon 120.
Braunstein in der Chlorfabrikation 400 f.; — in der Glasfabrikation 200; — Regenerierung 406.
Brechweinstein 602.
Breiteisen für Steinbearbeitung 19, A 13.
Brennen der Porzellanwaren 157; Brennofen 157, A 155; — Brennofen für die Fabrikation von Porzellankapseln 162, A 165; — des Steinzeuges 142; — der Töpferwaren 139; — der Ziegel 129.
Brenner für Gasbeleuchtung 589; — Argandbrenner A 589; — Siemens' invertierter Regenerativbrenner A 590; — Magnesiakamm A 592; — Gasglühlichtbrenner A 593.
Brennmaterial, flüssiges, Verfeuerung A 636.
Brenzkatechinmethylester 505.
Briani, Glasmacher 174.
Briati, Glasmacher 175.
Briketts 441.
Brinck & Hübner, Superphosphatfabrik, Mannheim 520.
Bristol, Porzellanmarke von 116.
Brogniart (Porzellanfabr.) 116.
Brom, Element 314; — Entdeckung 362; — Fabrikation 429; — Thonkühlschlange A 430; — Auffangen des B. A 431; — Reinigung des B. A 431.
Brommammonium 431.
Bromeisen 431.
Bromkalium 431.
Bromnatrium 431.
Bromsilber 431; — Herstellung von photographischen Platten 432.
Bromsilbergelatineemulsionsplatte 432.
Bromwasser, Erlenmeyersches 431.
Broyeuse für Toilettenseifen A 581.
Bruchgeschirr (Porzellan) 159.
Brühkammern (Kunststeinfabr.) 71.
Brunsaut, J. de (Glasfabr.) 262.
Buckelsteine 19.
Buff (Sodafabr.) 393.
Bühnensalz 512.
Bunsen, Chemiker 309.
Bunsenbrenner 593.
Buntsandstein 7.
Bunzlauer Töpferwaren 99, 147.
Burgbrohl, Bleiweißfabrikation zu 639.
Bürgstein, Spiegelfabrik in 178.
Büsche, William (Kunststeinfabr.) 71.
Butan, chem. Körper 316.
Byzanz, Glasmacherkunst in 178.

Cailletet, Chemiker 639.
Calcarone, Schwefelmeiler 365.
Calcine 199.
Calcinieren der Pottasche 328
Calcinieröfen i. d. Glasfabrikation 228.
Calcinierte Soda 420.
Calcit 194.
Calcium, Element 314, 326.

Calciumcarbid 640.
Calciumhydroxyd 38.
Calciumoxyd 38.
Calciumoxysulfid 392.
Calciumsulfat 61.
Caliche (Salpeterrohmaterial) 439.
Callitris quadrivalvis 561.
Cambacère (Kerzendochte) 555.
Cananga odorata 577.
Capitaine (Dynamitfabr.) 467.
Capo di Monte-Porzellane 115; — Marke 115, A 112.
Caput mortuum (Schwefelsäurefabr.) 371.
Carlisle, Chemiker 428.
Carnallit 425; — Verwendung in der Landwirtschaft 509; — Abdampfpfannen für die Mutterlauge A 512; — Flammofen A 513.
Carnaubawachs 555.
Caro, Chemiker 618.
Carrara, Porzellanart 161.
Carrarischer Marmor 34.
Carrière Schleudermühlen (Glasfabr.) 193, A 194 f.
Carvol 574.
Carvum carvi 574.
Caryophyllus aromaticus 574.
Cäsium, Element 314.
Castellani (Glasfabr.) 177.
Castnersches Verfahren (Elektrolyse) 425; — Apparat zur Natriumgewinnung A 425; — Darstellung von Ätznatron A 426.
Castro, Johann de (Alaunfabrikation) 358.
Cavendish, Chemiker 302.
Celluloid 477.
Cellulose 464.
Cellulosegewinnung für die Papierfabrikation mittels schwefliger Säure 367.
Cement s. Zement.
Cerattenkalk 33.
Ceresinfabrikation 554.
Certum, Element 314, 592.
Ceylongraphit 133.
Chaffers, Richard (Knochenporzellan) 105.
Chamotte 583.
Chamottekacheln 138.
Chamottekapseln (Porzellanfabrikation) 157, A 158.
Chamottesteine 132
Chance (Schwefelgewinnung) 411 f.
Chancesche Gemengmaschine (Glasfabr.) A 203.
Chantilly, Thonwarenmarke von 113, A 112.
Chardonnet (Nitroglycerinfabrikation) 469.
Chausseebaumaterial 9; — feststehender Maulbrecher A 10; — Steinschlaggabel A 10; — Steinschlaghammer A 10; — Steinbrechmaschine A 11; — Siebcylinder A 12.
Chaux du Teil (Kalk) 47.
Chelseaporzellan 116; — Marke 116, A. 112.
Chemie, Geschichte der 294; — die chemischen Kenntnisse der Alten 294; — Zeitalter der medizinischen Ch. 298; — die Phlogistiker 301; — organische, anorganische 308, 605; — Grundbegriffe der heutigen Ch. 312; — Kohlenstoffchemie 315; — die wichtigsten Methoden des chemischen Arbeitens 319; — Destillieren A 319 f.; — Destillationsapparat unter Benutzung von Wasserdampf 320, A 321; — Krystallisation 322; — Filtration 322; — glatte Filter A 322; — Faltenfilter A 323; — gerippter Trichter A 323; — Filtration bei verminderterm Luftdruck A 323; — Arbeiten mit Einschlußröhren 323; — Einschlußröhren A 323; — Ofen zum Erhitzen von Einschlußröhren A 323; — Aräometer A 324.
Chemisches Feuerzeug 482.
Chemische Industrie 291; — Kalkbrennen (Mörtel und Zement) 325; — Alkalien und Säuren 327; — Blutlaugensalzindustrie 332; — Alaun 352; — Soda 358, 388; — Kochsalz 359; — Schwefel u. Schwefelsäureindustrie 362; — Salzsäure 394; — Chlor 399; — — Chlorkalk 403; — chlorsaures Kali 404; — Wiedergewinnung des Schwefels 410; — Ammoniaksodafabrikation 415; — die elektrolytischen Methoden 423; — Fluor, Brom, Jod 427; — Salpeter und Salpetersäure 436; — Schießpulver und die neueren Explosivstoffe 447; — Erfindung der Feuerzeuge u. der Phosphor 478; — Verwertung des Holzes 495; — die künstlichen Düngemittel 506; — Verwertung der Fette u. Öle 538; — Verwendung der Steinkohlen 582; — Heil- u. Desinfektionsmittel 619; — Petroleum 632; — Verflüssigung der Gase u. der Luft 689.
Cherpentier, François (Töpferei) 96.
Chevalets Apparat zur Gewinnung von Ammoniak aus Fäkalien 534, A 535.
Chevreul, Chemiker 308, 538, 552, 558.
Chile, Salpeterlager in 434.
Chilisalpeter 440.
China Clay (Porzellanerde) 119.
Chincha-Inseln, Guanolager auf den 528.
Chinesen, Glasmacherkunst der 172; Glasgefäß, geschnitten A 268; — Porzellanfabrikation 105; Porzellangefäße A 103; Kitt 82; Fischbecken aus dem 18. Jahrh. A 106.
Chinin 620, 623.
Chininolin 623 f.; — Schema A 622.
Chlor, Element 314, 426; — Gewinnung des 399; — Purolusit A 401; — Chlorentwickelungsgefäß A 401; — Verflüssigung von Chlorgas 401, A 402.
Chloral 626.
Chloralhydrat 625.
Chloräthyl 630.
Chlorbaryumanstrich 80.
Chlorbenzol 607.
Chlorgas, Verflüssigung von 401, A 402.
Chloroformchlornatrium 447.
Chlorkalium 332, 426; — Fabrikation 509 f.; Abdampfpfannen f. d. Mutterlauge A 512; Flammofen A 513.
Chlorkalk 369, 399; — als Antiseptikum 630; — Fabrikation: Apparat A 403; Schutzhelm mit Luftzuführung von hinten A 404; Leuchtapparat A 404; Anwendung des Respirationsapparates in der Bleikammer A 405
Chlormagnesium 510.
Chlornatrium 359, 426.
Chloroform 629.
Chlorplatinchlorammonium 447.
Chlorschwefel 387.
Chrittofle (Versilberung) 349.
Chrom, Element 314, 357; — als Glasfärbemittel 201.
Chromeisenstein 357.
Chromgelb, Farbstoff 602.
Chromleim 82.
Chromoxyd 602.
Chromrot, Farbstoff 602.
Chrysoberyll, künstlicher 259.
Chrysolith, künstlicher 258.
Chrysopras 252.
Ciment armé 61.
Cinchona 623.
Claus, Chemiker 412.
Clement (Schwefelsäurefabr.) 374.
Clignancourt, Thonwarenmarke von 113, A 112.
Cocain 620 f., 629.
Codein 621.
Cobre (Ziegelfabr.) 125.
Coindet, Arzt 435.
Cölestin 196, 363.
Comparto (Glasfabr.) 174.
Congrevesche Reibzünder 488.
Conin 622; — Schema A 622.
Copeland & Sons, Steinzeuggefäße von A 102.
Copernicia cerifera 555.
Cordit, rauchloses Pulver 473.
Cordus, Valent., Chemiker 627.
Coupier, Chemiker 616.
Courtois (Chemie) 432.
Craquelé-Glasuren 160.
Crinoiden, Kalkbildung durch 31. [297.
Crinot, Hieronymus, Adept
Cuminol 574.
Cuminum Cyminum 574.
Cyankalium, Herstellung von 348; — Stangengußform A 349; — Verwendung im Goldbergbau 350.
Cyannatrium 348.
Cylinderofen, rotierender, für Sodafabrikation 391, A 392.
Cylinderöl 635.
Cymol 574.

Dachpappenfabrikation 600.
Dachschiefer 7, 27; — Werkzeuge zur Schieferbearbeitung A 27.
Dachziegel 127.
Dahmenit, Sprengstoff 478.
Dalton, Chemiker 306.
Daniel, Ralph (Töpferei) 104.
Darröfen (Glasfabr.) 228.
Davy, Humphry, Chemiker 306, 424, 627, 639.
Deaconprozeß (chlors. Kali) 406.
Deck (Thonwarenind.) 102, 116, 144.
Deckhammer für Schieferbearbeitung 28, A 27.
Deimann, Chemiker 423.
Deite (Seifenfabr.) 548.
Delft, Kunsttöpferei in 97; — Marken A 92; — Fayencen 140; — Kühlbecken A 138.
Demokrit, griech. Philosoph 295.
Denaturieren des Trinkbranntweins 499.
Denitrifikator 469.
Derbyporzellan 116; — Marke 116, A 112.
Derepas, Chemiker 490.
Derosne, Chemiker 490, 628.
Desinfektionsmittel 619.
Desintegrator f. Entkupferung von Kiesabbränden A 379; — in der Glasfabrikation 193, A 194 f.; — f. Superphosphat A 523.
Desormes (Schwefelsäurefabrikation) 374.
Dessertteller aus Porzellan vom Service Friedrichs des Großen A 168.
Destillation, trockene 582; — von Hölzern 498.
Destillationsapparat für glycerinhaltige Flüssigkeiten 559, A 560; — zur Gewinnung ätherischer Öle 570, A 571.
Destillationsmethoden in der Chemie 319, A 319 f.; — Destillationsapparat unter Benutzung von Wasserdampf 320, A 321.
Destillierblase (Anilinfabrikation) A 613.
Destillieren des Schwefels 365, A 365.
Deubitz, Glashütte in 176.
Deutsche chemische Gesellschaft 311.
Deutschland: Glasfabrikation 177; altdeutsche Gläser A 178; — Kunsttöpferei 98; — Porzellanfabrikation 107; altdeutsche Öfen 138.
Dewar, Chemiker 478.
Diabasporphyr 6.
Diamantin (Eisenpulver) 16.
Diamantsägen für Steinbearbeitung 15.
Diamantschwarz 604.
Diaphragma 426.
Diatomeen, Kalkbildung durch 32.
Diatreta, röm. Gläser 171.
Diazogruppe 619.
Dibutadès, griech. Töpfer 88.
Dichte Gesteine 4.
Dichter Kalk 33.
Dichter Kalkstein 6.
Didym, Element 314.
Diesbach, Chemiker 382.
Diesener (Ziegelfabr.) 128.
Dietrich (Porzellanfabr.) 111.
Dimethyl, chem. Körper 316.
Dimethylanilin 610 f., 612; — Konstitutionsformel A 610.
Dimorphismus (Chemie) 308.
Dinassteine 132, 216.
Dinitrobenzol 475.
Diorit 6.
Dippelsches Tieröl 333, 622.
Döbereinersches Platinfeuerzeug A 482.
Doccia, Porzellanmanufaktur in 115; — Majolikaplatte A 93; — Marke 115, A 112.
Dochte für Kerzen 555; — Spulmaschine A 556; — Flechtmaschine A 555; — Trockenapparat A 556.
Dolerit 6.
Dolomit 6, 34.
Dolomitischer Kalk 34.
Doornik, Porzellanmarke von 116, A 112.
Doppelfluat 80.
Doppelsuperphosphat 525.
Doppelwanne, Siemensche (Glasind.) A 226.
Doppelwasserglas 263.
Dornstein 361.
Douault-Wieland (Glasind.) 257.
Drainröhren 128.
Drake (Erdöl) 632.
Drehbank für Steinverarbeitung 22.

Drehereisaal einer Porzellanfabrik 152, A 158.
Droguen 620.
Druckerfirnis 270.
Drummondsches Kalklicht 591.
Duckstein 7.
Dumas, Chemiker 308, 608.
Düngemittel, die künstlichen 506; — Veraschung von Pflanzenteilen in einem Platintiegel A 508; — Darstellung der Kalisalze für Düngezwecke 509; — Kainit, Carnallit 509; — Phosphate 514; — Doppelsuperphosphat 525; — Thomasphosphatmehl 526; — Guano 528; — Stickstoffdünger 529.
Durchschiebemuffeln (Porzellanfabr.) 166, A 166.
Dyar (Sodafabr.) 415.
Dynamit 475; — Herstellung von 466.

Earthern ware 141.
Eau de Javelle 369, 399.
Eau de Labarraque 399.
Edelsteine, künstliche 257.
Egermann (Glasfabr.) 251.
Eifeler-Kalk 33.
Einbrennen in der Glasmalerei 288.
Eindampfen der Schwefelsäure 380, A 380 f., 382.
Eindampfpfannen zur Gewinnung von Essigsäure A 500.
Einsatzrönel für Steinbearbeitung 19, A 13.
Einschlußröhren (Chemie) 323, A 323; — Ofen zum Erhitzen von E. A 323.
Einspitz für Steinbearbeitung 18, A 13.
Einstich (Glasfabr.) A 252
Eisen, Element 314; — als Glasfärbemittel 189, 201; — gezahntes für Steinbearbeitung 19, A 13.
Eisenbahnschwellen, Imprägnieren von 396, 505.
Eisenblüte 194.
Eisenkohlenoxyd 592.
Eisenoxyd 379.
Eisenporzellan 109.
Eisenrot (Glasmal.) 281.
Eisessig 501.
Eisgeist 534.
Eisglas 253.
Eiweißstoffe, Zusammensetzung der 364.
Ekaaluminium, chem. Körper 317.
Elektrolytische Methoden in der chem. Industrie 423; — Zerlegung von Gasen mittels Elektrizität A 423; — Galvanische Tauchbatterie A 424; — Apparat zur Natriumgewinnung mittels Elektrolyse nach Castner A 425.
Elemente, Atomgewicht der 313 f.; — Begriff 298, 312; — Namen 314; — Wertigkeit 314 f.; — des Aristoteles 296; — System von Mendelejeff 317 f.
Elers (Töpferei) 104.
Elevator für fertige Ziegel 124, A 125.
Elfenbein, künstliches 478.
Elfenbeinmasse 64.
Eltonsee 360.
Emaillierkunst, Geschichte der 91; — Herstellung des Emails 259; — emaillierte Platte von Palissy A 95.
Emaillmalerei 259.
Emulsin 575.
Engelhart, Chemiker 602.
England, Glasfabrikation in 181; — Porzellanfabrikation 116; — Thonwarenindustrie 108.
Englischrot 602.
Engoben (Steingut) 144.
Engobieren der Mauerziegel 125; — der Töpferwaren 91.
Entfärbungsmittel in der Glasfabrikation 200.
Entfärbungspulver (Blutlaugensalzfabr.) 348.
Entflammungspunkt des Petroleums 638.
Entglasung (Glasfabr.) 184.
Epilepsiebehandlung durch Bromkalium 481.
Erbium, Element 314.
Erbsenstein 33, 194.
Erden, Industrien der, s. Steine u. Erden.
Erdmann, Chemiker 310.
Erdnußöl in der Seifenfabrikation 542; — horizontale hydraulische Warmpresse A 548.
Erdöl s. Petroleum.
Erdwachs (Ozokerit) 554.
Erlenmeyersches Bromwasser 481.
Eruptive Gesteine 4.
Erythroxylon Coca 621.
Eßbouquet, Extrait 580.
Essence de Mirban 575.
Essigsäure, Gewinnung von 499; — Eindampfpfanne A 500; — Rektifikationsapparat für E. A 500; — Überführung von Essigsäure A 502.
Etruria, Thonwarenfabrikstadt in England 105.
Etrurien, Töpferkunst in 88.
Eugenol 574.
Exhaustor (Gasfabr.) 587.
Explosivstoffe s. Schießpulverfabrikation.
Exsiccatoren 385, A 385.
Extraits d'odeurs 579; — Mischmaschine A 579.
Extrakte, alkoholische 579.
Extraktor für Teerfarbenfabrikation 616, A 615.

Fadenglas 175; — venezianische Kanne aus A 175.
Faenza (Fayence) 93.
Fahnehjelm (Kalkbrenner.) 42.
Fahnehjelm (Gasglühlicht) 592.
Fahrmühle (Ziegelfabr.) 123.
Fällalien, Apparat zur Gewinnung von Ammoniak aus 534, A 535.
Falkenau, Glashütte in 178.
Falzziegel 128.
Faraday, Chemiker 308, 639.
Färbemittel i. d. Glasindustrie 201.
Farben u. Farbstoffe 601; — anorganische 601; — chemische 613; — Teerfarben (Anilin) 605, 608; — Glasmalerei 285.
Farbendruck (Glasind.) 270.
Farbige Gläser 248.
Farbiack 358.
Fasergips 62.
Faserkalk 33.
Fayencen 93, 134; — von Oiron 96, A 96; — in persischem Stile A 98; — deutsche aus d. 16. Jahrh. A 99; — Kühlbecken aus Delfter 140, A 138; — Vasen von Geoffroy in Gien A 97; — Fayence anglaise, fine 141.
Feil (Glasfabr.) 255.
Feingut (Porzellan) 159.
Feinkühlung (Glasfabr.) 186.
Feinschleifen d. Spiegelglastafeln 246.
Feinschrot f. Chausseebau 9.
Feinsplitt f. Betonbau 9.
Feldspat 149 f.; — i. d. Glasfabrikation 199.
Feldspatglas 252.
Feldspatsteingut 142.
Felsarten, Verarbeitung der 9.
Felsitporphyr 5.
Fensterglas 181, 241.
Fenster-Mosaiken 278.
Ferrocyancalcium 346.
Ferrocyankalium 340, 346.
Ferrocyannatrium 346.
Ferula asa foetida 368, A 364.
Fette u. Öle, ihre Verwertung i. d. chemischen Industrie 538; — Seifenfabrikation 539; — Kerzenfabrikation 551; — trocknende Öle und Firnisse 560; — Margarine (Kunstbutter und künstliche Speisefette) 561; — die ätherischen Öle sowie ihre Verwendung i. d. Likörfabrikation und i. d. Parfümerie 570.
Feuergas 587.
Fettkalk 39.
Fettmahlmaschine (Margarinefabr.) A 565.
Fettsäure 539, 552.
Fettschneidemaschine (Margarinefabr.) 565, A 564.
Feuer, griechisches 449.
Feuerfeste Steine und Fabrikate 132.
Feuerlauge (Seifenfabr.) 546.
Feuerschwamm A 481.
Feuerstein i. d. Glasfabr. 191.
Feuerungsanlagen f. chemische Laboratorien u. Großbetriebe 324.
Feuerwerkerei 476.
Feuerzeuge 478; — Eisen im Sauerstoff brennend A 479; — die Flamme A 480; — Rußen infolge von Mangel an Sauerstoff A 480; — Stahl, Stein und Zunder A 481; — Feuerschwamm A 481; — Feueranzünden mit Stahl, Stein und Schwamm A 481; — Döbereinersches Platinfeuerzeug A 482; — Streichhölzchen 490; — Auftapeln der Zündhölzchen für das Betupfen A 492; — Eintauchen der Hölzchen in die Zündmasse A 492; — Phosphorfeuerzeuge f. u. Phosphor.
Figuren-porzellan 161.
Filigranglas 255.
Filtration in der Chemie 322; — glatte Filter A 322; — Faltenfilter A 322; — gerippter Trichter A 322; — bei vermindertem Luftdruck A 322; — in der Blutlaugensalzfabrikation 342; Rahmenfilterpresse A 342; Filtration der Reinlauge A 341; Laboratoriumsfilterpresse A 343.
Findlinge (Chausseebau) 10.
Finkenwalde, Portland-Zementfabrik „Stern" in 54, A 55, 59.
Firnisse 560.
Fischer, Emil, Chemiker 309
Fixiersalz 370.
Fixierungswasserglas 263.
Fläche (Schellhammer) 12, A 13.
Flammbilder der wichtigsten Sprengstoffe T 476.
Flamme 478, A 480; — Eisen im Sauerstoff brennend A 479; — Rußen infolge von Mangel an Sauerstoff A 480.
Flammofen zum Glühen des Quarzes (Glasfabr.) 192, A 193; — i. d. Blutlaugensalzfabr. 335, A 334 f.; — i. d. Chlorkalkumfabr. 512, A 513.
Flandrische Krüge 101; — Spiegel 180.
Flaschen, Bologneser 185, 571, A 573.
Flaschenfabrikation 230.
Flaschenform z. vollständ. Ausblasen (Glasfabr.) A 232.
Fleckwasser 416.
Fleischmann (Fayence) 102; — Nachbild. alter Krüge, A 100.
Fleischmehl 537.
Fliesengemälde im Königl. Schloß zu Berlin A 168.
Flintglas 191.
Flint ware 141.
Florida, Phosphatlager in 518.
Flowing blue 144.
Fluate f. Steinkonservierung 80.
Flugbahnen von Projektilen A 458.
Fluor, Element 314; — Herstellung 427, A 428; — Flußspatkrystall A 427.
Fluorcalcium 196, 427.
Fluorwasserstoffsäure 428.
Fluosilikate f. Steinkonservierung 80.
Flurfenster, mittels Sandgebläses gemustertes A 275; — matt geätzt auf schwach mattiertem Grunde A 278.
Flußmittel i. d. Glasmalerei 285.
Flußsäure 428; — Darstellung der A 428; — Ätzen des Glases mittels 271.
Flußspat 196, 427.
Flußspatglas 252.
Flußspatkrystall A 427.
Fontana, Orazio (Kunsttöpferei) 93.
Foraminiferen, Kalkbildung durch 32.
Fordos, Chemiker 447.
Formaldehyd 607.
Formerei i. d. Töpferei 136, A 137.
Formmaschine f. Margarine 569, A 570.
Formsteine (Ziegelfabr.) 127.
Formstücke (Ziegelfabr.) 127.
Forrestisches Verfahren i. Goldbergbau 350.
Fourcroy, Chemiker 305.
Frank, Sigmund (Glasmal.) 283.
Frankenthaler Porzellanmarke 111, A 112.
Frankland, Chemiker 309.
Frankreich, Glasfabrikation in 181 f.; — Kunsttöpferei 94; — Porzellanfabrikation 112.
Franzo, Battista (Kunsttöpferei) 98.
Fräskopf an einer Hobelmaschine f. Steinbearbeitung A 21.
Frauberger (Töpferei) 101.
Fraueneis 61.
Frechen (Töpferei) 101.
Fresenius, Chemiker 309.
Frittefarben (Porzellanmal.) 164.
Frittenporzellan 107, 114.

Frittöfen (Glasindustrie) 228.
Fritzsche, Chemiker 810.
Fuchsin, Farbstoff 615.
Fuldaer Porzellanmarke 111, A 112.
Funk (Erdöl) 632.
Fürbringer Muffel 166.
Fürstenberger Porzellanmarke 111, A 112.

Gabbro, Gestein 7.
Galeerenofen (Schwefelsäurefabrikation) A 371.
Gallium, chem. Element 314, 317.
Gallo, dal (Glasfabr.) 244.
Gärung i. d. Porzellanfabrikation 152.
Gary, Techniker 9.
Gas, Ursprung des Wortes 582; — indifferentes 436; — permanentes 639; — salzsaures 394; — Verflüssigung des 639; — Flasche zum Waschen u. Trocknen der A 386; — Zerlegung von, mittels Elektrizität A 428; — s. a. Leuchtgas.
Gasanstaltsabfällen, Darstellung von Blutlaugensalz aus 845.
Gasbrunnen 638.
Gasglühlicht, Auersches 591.
Gasolin 634.
Gasruß 664.
Gastaldo (Glasfabr.) 174.
Gatterdiamantsäge s. Steinbearbeitung 15.
Gay (Steinbearbeitung) 17.
Gay-Lussac, Physiker u. Chemiker 306, 432, 552; — Gay-Lussacturm (Schwefelsäurefabr.) 376.
Geber, Chemiker 296, A 296, 358, 448.
Gefäßkunst s. Thonwarenind.
Geislersche Glaspresse 240, A 239.
Gelatine 398.
Gelatinedynamit 475 f.
Gelbgefärbte Gläser 249.
Geligmit, Explosivstoff 475.
Gemeiner Kalk 38.
Gemenge (Glassatz) 202; — Gemengmaschine v. Chance A 203.
Glasaow, Alaunwerke von Hurlet u. Campsie bei 355.
Glashäfen, feuerfeste, und Wannen i. d. Glasindustrie 204; — Wahl und Vorbereitung des Glasbafenthones 205; — Kollergang mit Siebtrommel A 207; — Schlämmvorrichtung 207, A 208; — Bau der Häfen 208; — liegende Thonknetmaschine A 209; — alte Häfen A 210; — offene, überwölbte Häfen 209, A 210; — Hafenbau 211; — Hafenbrett mit Hafen A 211; — Siemensscher Glashafen A 212; — kleine Hafenpresse nach Simons A 213; — große Hafenpresse nach Simons A 214; — Raffinierschiffchen A 215.
Glashafenofen, Siemensscher A 222.
Glasindustrie 169; — Bedeutung und Geschichte des Glases 169; — Wesen und Eigenschaften 184; — chemische Zusammensetzung 187; — Einteilung der Gläser 190; — Rohmaterialien u. ihre Zubereitung 191; — Hauptbestandteile der Glasmasse 191; — Zuschläge zur Glasmasse 199; — Entfärbungsmittel 200; — die gebräuchlichsten Färbemittel 201; — Bereitung des Glassatzes 202; — die feuerfesten Glashäfen u. Wannen s. Glashäfen; — Glasschmelzöfen s. d.; — Schmelzen 229; — Verarbeitung der Glasmasse s. Glasmasse; — Hohlgläser s. d; — Preßglas s. d.; — Tafelglasfabrikation s. d.; — Spiegelglasfabrikation s. d.; — farbige Gläser 248; — Zier- u. optische Gläser 253; — Arbeiten vor der Glasbläserlampe 264; — Verzieren des Glases durch Schliff u. Schnitt 264; — Bedrucken der Gläser 269; — Ätzen des Glases 271; — Verzierungen durch den Sandstrahl 274; — Guillochieren der Gläser 277; — Glasmalerei s. d; — Glaskunsterzeugnisse aus älterer und neuerer Zeit T 260.
Glasmacherseife 200.
Glasmalerei 98, 183, 277; — Grisaille A 279; — gemaltes Glasfenster aus dem 14. Jahrh. A 280; — Profanfenster „Italienisches Gastmahl" A 281; — Farbenskizze eines Glasfensters A 282; — Bleiriß eines gemalten Glasfensters A 282; — Konturieren und Malen auf Glas A 283; — Glasschneiden, Zusammensetzen und Verbleien A 284; — Segerkegel 289, A 288; — Ofen zum Einschmelzen der Farben A 289.
Glasmasse, Bestandteile der, 188, 191; — Zuschläge zur 191; — Verarbeitung der 230.
Glaspresse, Geislersche 240, A 239.
Glasschmelzöfen 216; — alter Gl. A 216; — Ofen für Holzheizung mit Rost A 217; — Ofen für Kohlenfeuerung A 218; — Ofengewölbe nach Kirn A 219; — Ofen mit indirekter (Gas-) Feuerung A 220; — Siemensscher Regenerativgasofen 220; — Generator A 220; — Wechselklappe A 221; — Glashafenofen A 222; — Wannenofen A 223, 225; — Siemensche Doppelwanne A 226; — Gl. mit freier Flammentfaltung nach Siemens 226; — Gobbescher für Tafelglas 226, A 227; — Rekuperativöfen 226; — Glasschmelzhafenofen A 228; — Nebenöfen 228; — Auftempern 228.
Glassatz, seine Zubereitung 202; — Gemengmaschine von Chance A 203.
Glasspiegel 175; — Erfindung der 182; — Fabrikation 244.
Glasthränen 186.
Glasur der Porzellanwaren 156; — des Hartporzellans 156; — des Weichporzellans 160; — des Steinguts 142 f.; — des Steinzeugs 148; — der Thonwaren 187, A 90; — der Ziegel 128.
Glasurerz 138.
Glaswatte 262.
Glaswolle 262.
Glattbrand 137, 142, 157 f.
Glauber, Joh. Rud., Chemiker 300.
Glaubersalz 198. 300, 389 f.; — Ofen zur Umwandlung von Kochsalz in 388, A 389; — Muffelofen für die Glaubersalzfabrikation 389, A 390.
Glimmerporphyr 5.
Gloverturm (Schwefelsäurefabr.) 376.
Glühkohle 441.
Glühlicht, Gas- 591.
Glühstoff 441.
Glühstrümpfe 591.
Glycerin 558; — in der Dynamitfabrikation 467; — Destillationsapparat A 560.
Gmelin, Chemiker 603.
Gneis 5.
Gobbescher Schmelzofen für Tafelglas 226, A 227.
Gold, Cement 314; — als Glasfärbemittel 201.
Goldbergbau, Verwendung des Cyankaliums im 350.
Goldchlorid 446.
Goldlüster 145.
Goldmacherkunst 296 f.
Gossage (Salzsäurefabr.) 395.
Gothaer Porzellanmarke 111.
Grabmal des Herzogs Heinrich IV. von Schlesien 92.
Grabierwerk (Kochsalzindust.) 360, A 360.
Graebe, Chemiker 309, 623.
Grammatit, Mineral 372.
Gran, Bald. (Kunststeinfabr.) 76.
Granat, künstlicher 259.
Grand für Betonbau 9.
Granit 5; — künstlicher 73.
Granito, Kunststein 73.
Granitoid, Kunststein 73.
Graphit als Glasfärbemittel 201; — Passauer 133.
Graphittiegel 138.
Gras, Straßenpflaster aus 86.
Graues Glas 250.
Graukalk 39.
Graustein, basaltischer 6.
Grauwacke 7.
Grauwackenkalk 39.
Gravieren des Glases 267.
Green (Steingutfabr.) 108.
Griechen, Naturwissenschaften bei den 295; — Töpferkunst 88.
Griechisches Feuer 449.
Grisaille (Ornamentfenster) A 279.
Grobschrot (Chausseebaumaterial) 9.
Grobsplitt für Betonbau 9.
Gröger (Glasfabr.) 185.
Großbreitenbacher Porzellanmarke 111.
Großheim, von, Architekt 67.
Grote (Kunststeinfabr.) 77.
Groussilier, Chemiker 506.
Grubenpulver 454.
Grün, Schweinfurter 503, 602.
Grundemails 261.
Grünes Glas 250, 248.
Grünfeuer 477.
Grünsandstein 7.
Grünspan 503.
Grünstein, basaltischer 6.
Grünwald, Glasfabrikation in 178.
Gryphitenkalk 33.
Guajacol, chem. Substanz 505.
Guano, Guanolager 528.
Gubbio, Majolikafabrikation in 93.
Guhrdynamit 476.
Guillochieren der Gläser 277.
Guillot (Glasindustrie) 277.
Guimet, Chemiker 602.
Guinand (Glasfabr.) 255.
Gußspiegelfabrikation 182.
Gußtisch, Schmelzofen und Kühlofen in einer Spiegelfabrik A 245
Gußverfahren in einer Spiegelglasfabrik A 246.
Gutbrand (Porzellanfabr.) 157.
Guttapercha als Kittmaterial 81; — Flaschen aus 429.
Güttler (Pulverfabr.) 452.
Guttmann (Salpetersäurefabr.) 445.

Giovanno von Murano, Glasmacher 175.
Gips 17, 61, 363; — Verwendung 62; — Formen 63; — Gießen 64; — alte Giebelhäuser in Lüneburg A 65; — als Farbstoff 601.
Gipsigwerden des Glases 230.
Glanzgold 168.
Glas, Abstammung des Wortes 169; — blaues 248; — elastisches 172; — farbiges 248; — gelbgefärbtes 249; — gesponnenes 262; — getrübtes 251; — graues 250; grünes 248; — hämmerbares 171; — durch Lasur gefärbtes 261; — marmoriertes 184, 253; — optisches s. optisches Glas; — regenbogenfarbenes 254; — rotes 249; — schwarzes 250; — violettes 248; — Nachahmung von Gestein durch G. 258.
Glasätzen 271, 428.
Glasbläserlampe, Arbeiten vor der 264, A 265.
Glasbläserofen mit Arbeitsbühne A 231.
Glasbläserpfeife A 231.
Glasbrocken 199.
Glasfärberei 183.
Glasfenster 181, 241.
Glasformen 238, 242, A 237 f., 241.
Glasgalle 229.
Glasgemenge (Glassatz) 202; — Gemengmaschine von Chance A 203.
Glasgow, Alaunwerke von Hurlet u. Campsie bei 355.
Glashäfen, feuerfeste, und Wannen i. d. Glasindustrie 204; — Wahl und Vorbereitung des Glasbafenthones 205; — Kollergang mit Siebtrommel A 207; — Schlämmvorrichtung 207, A 208; — Bau der Häfen 208; — liegende Thonknetmaschine A 209; — alte Häfen A 210; — offene, überwölbte Häfen 209, A 210; — Hafenbau 211; — Hafenbrett mit Hafen A 211; — Siemensscher Glashafen A 212; — kleine Hafenpresse nach Simons A 213; — große Hafenpresse nach Simons A 214; — Raffinierschiffchen A 215.
Glashafenofen, Siemensscher A 222.
Glasindustrie 169; — Bedeutung und Geschichte des Glases 169; — Wesen und Eigenschaften 184; — chemische Zusammensetzung 187; — Einteilung der Gläser 190; — Rohmaterialien u. ihre Zubereitung 191; — Hauptbestandteile der Glasmasse 191; — Zuschläge zur Glasmasse 199; — Entfärbungsmittel 200; — die gebräuchlichsten Färbemittel 201; — Bereitung des Glassatzes 202; — die feuerfesten Glashäfen u. Wannen s. Glashäfen; — Glasschmelzöfen s. d.; — Schmelzen 229; — Verarbeitung der Glasmasse s. Glasmasse; — Hohlgläser s. d; — Preßglas s. d.; — Tafelglasfabrikation s. d.; — Spiegelglasfabrikation s. d.; — farbige Gläser 248; — Zier- u. optische Gläser 253; — Arbeiten vor der Glasbläserlampe 264; — Verzieren des Glases durch Schliff u. Schnitt 264; — Bedrucken der Gläser 269; — Ätzen des Glases 271; — Verzierungen durch den Sandstrahl 274; — Guillochieren der Gläser 277; — Glasmalerei s. d; — Glaskunsterzeugnisse aus älterer und neuerer Zeit T 260.
Glasmacherseife 200.
Glasmalerei 98, 183, 277; — Grisaille A 279; — gemaltes Glasfenster aus dem 14. Jahrh. A 280; — Profanfenster „Italienisches Gastmahl" A 281; — Farbenskizze eines Glasfensters A 282; — Bleiriß eines gemalten Glasfensters A 282; — Konturieren und Malen auf Glas A 283; — Glasschneiden, Zusammensetzen und Verbleien A 284; — Segerkegel 289, A 288; — Ofen zum Einschmelzen der Farben A 289.
Glasmasse, Bestandteile der, 188, 191; — Zuschläge zur 191; — Verarbeitung der 230.
Glaspresse, Geislersche 240, A 239.
Glasschmelzöfen 216; — alter Gl. A 216; — Ofen für Holzheizung mit Rost A 217; — Ofen für Kohlenfeuerung A 218; — Ofengewölbe nach Kirn A 219; — Ofen mit indirekter (Gas-) Feuerung A 220; — Siemensscher Regenerativgasofen 220; — Generator A 220; — Wechselklappe A 221; — Glashafenofen A 222; — Wannenofen A 223, 225; — Siemensche Doppelwanne A 226; — Gl. mit freier Flammentfaltung nach Siemens 226; — Gobbescher für Tafelglas 226, A 227; — Rekuperativöfen 226; — Glasschmelzhafenofen A 228; — Nebenöfen 228; — Auftempern 228.
Glassatz, seine Zubereitung 202; — Gemengmaschine von Chance A 203.
Glasspiegel 175; — Erfindung der 182; — Fabrikation 244.
Glasthränen 186.
Glasur der Porzellanwaren 156; — des Hartporzellans 156; — des Weichporzellans 160; — des Steinguts 142 f.; — des Steinzeugs 148; — der Thonwaren 187, A 90; — der Ziegel 128.
Glasurerz 138.
Glaswatte 262.
Glaswolle 262.
Glattbrand 137, 142, 157 f.
Glauber, Joh. Rud., Chemiker 300.
Glaubersalz 198. 300, 389 f.; — Ofen zur Umwandlung von Kochsalz in 388, A 389; — Muffelofen für die Glaubersalzfabrikation 389, A 390.
Glimmerporphyr 5.
Gloverturm (Schwefelsäurefabr.) 376.
Glühkohle 441.
Glühlicht, Gas- 591.
Glühstoff 441.
Glühstrümpfe 591.
Glycerin 558; — in der Dynamitfabrikation 467; — Destillationsapparat A 560.
Gmelin, Chemiker 603.
Gneis 5.
Gobbescher Schmelzofen für Tafelglas 226, A 227.
Gold, Cement 314; — als Glasfärbemittel 201.
Goldbergbau, Verwendung des Cyankaliums im 350.
Goldchlorid 446.
Goldlüster 145.
Goldmacherkunst 296 f.
Gossage (Salzsäurefabr.) 395.
Gothaer Porzellanmarke 111.
Grabmal des Herzogs Heinrich IV. von Schlesien 92.
Grabierwerk (Kochsalzindust.) 360, A 360.
Graebe, Chemiker 309, 623.
Grammatit, Mineral 372.
Gran, Bald. (Kunststeinfabr.) 76.
Granat, künstlicher 259.
Grand für Betonbau 9.
Granit 5; — künstlicher 73.
Granito, Kunststein 73.
Granitoid, Kunststein 73.
Graphit als Glasfärbemittel 201; — Passauer 133.
Graphittiegel 138.
Gras, Straßenpflaster aus 86.
Graues Glas 250.
Graukalk 39.
Graustein, basaltischer 6.
Grauwacke 7.
Grauwackenkalk 39.
Gravieren des Glases 267.
Green (Steingutfabr.) 108.
Griechen, Naturwissenschaften bei den 295; — Töpferkunst 88.
Griechisches Feuer 449.
Grisaille (Ornamentfenster) A 279.
Grobschrot (Chausseebaumaterial) 9.
Grobsplitt für Betonbau 9.
Gröger (Glasfabr.) 185.
Großbreitenbacher Porzellanmarke 111.
Großheim, von, Architekt 67.
Grote (Kunststeinfabr.) 77.
Groussilier, Chemiker 506.
Grubenpulver 454.
Grün, Schweinfurter 503, 602.
Grundemails 261.
Grünes Glas 250, 248.
Grünfeuer 477.
Grünsandstein 7.
Grünspan 503.
Grünstein, basaltischer 6.
Grünwald, Glasfabrikation in 178.
Gryphitenkalk 33.
Guajacol, chem. Substanz 505.
Guano, Guanolager 528.
Gubbio, Majolikafabrikation in 93.
Guhrdynamit 476.
Guillochieren der Gläser 277.
Guillot (Glasindustrie) 277.
Guimet, Chemiker 602.
Guinand (Glasfabr.) 255.
Gußspiegelfabrikation 182.
Gußtisch, Schmelzofen und Kühlofen in einer Spiegelfabrik A 245
Gußverfahren in einer Spiegelglasfabrik A 246.
Gutbrand (Porzellanfabr.) 157.
Guttapercha als Kittmaterial 81; — Flaschen aus 429.
Güttler (Pulverfabr.) 452.
Guttmann (Salpetersäurefabr.) 445.

Haag, Porzellanmarke 116, A 112.
Häfen, feuerfeste, in der Glasindustrie s. Glashäfen.
Hafenbrett mit Hafen (Glasfabr.) A 211.
Hafenpressen nach Simons (Glasfabr.) A 213 f.
Hafenschalen, Verwendung der, in der Hafenformerei 207.
Hafensteine (Glasfabr.) 230.
Hafenstube (Glasfabr.) 208.
Halba-Steinschönau, Glasfabrikation in 178.
Halbkrystalle (Glasfabr.) 236.
Halbmajoliken (Töpferei) 91 f.
Hallstätter-Kalk 83.
Hämatinon 289.
Haematoxylon campechianum 604.
Handfeuerwaffen, Kaliber von 458.
Hanung (Porzellanfabr.) 111 f., 114.
Hartglas 172, 240.
Hartpech (Teerdestill.) 596.
Hartporzellan 149.
Harz 572.
Harzkitte 81 f.
Harzöle 573; — Destillationsanlage 573, A 574.
Haßkarl, Botaniker 628.
Haueisen für Schieferbearbeitung 28, A 27.
Hauenschild (Kunststeinfabr.) 75.
Hausteine 15; — Sägen der Steine 15; — Bearbeitung der Steinflächen 18; — Bandsäge A 17; — Einspitz, Schlagspitz oder Spitzeisen 18, A 13; — Picke 18, A 13; — Schlageisen 18, A 13; — Schlegel 18, A 13; — Schrothammer 18, A 13; — Zweispitze 18, A 13; — Beil- oder Locheisen 19, A 13; — Breiteisen 19, A 13; — Kipp- oder Boffierhammer 19, A 13; — Kraus- oder Stockhammer 19, A 13; — Krönneleisen 19, A 13; — Zahn- oder Scharrierhammer 19, A 13; — Bearbeitung der Steinflächen durch Maschinen 20; — Fräskopf einer Hobelmaschine A 21; — Sprengscheiben 21, A 22; — Werkzeughalter A 22; — Feinbearbeitung der Steinflächen 23; — Schleif- und Poliermaschine 24, A 25; — Polieren 25; — Mattieren und Ätzen 26.
Hebelapparat von Michaeli 53.
Hebler (Schießpulverfabr.) 471.
Heckmann (Glycerinfabr.) 559.
Heidelberg, Portland-Zementwerk in 57.
Heilmittel, chemische 619.
Heinrich IV. von Schlesien, Grabmal des Herzogs 92.
Heinzerling (Kunststeinfabr.) 77.
Helium, Element 314.
Helmont, Joh. Baptist van, Chemiker 298, 300, 448, 582.
Hemming (Sodafabr.) 415.
Henning & Wrede-Glasschmelzöfen 226 f.; — Glasschmelzhafenofen A 228.
Henribeuxware 96.
Henfing, Chemiker 486.
Herdglas 219.
Hérissant (Knochenleimfabr.) 398.
Herold (Porzellanfabr.) 110.
Hessische Tiegel 133.
Hewes, Robert (Glasfabr.) 181.
Heyne (Ultramarinfabr.) 603.
Hintermauerungssteine 127.
Hirschhornsalz 383, 536; — Apparat zur Gewinnung von A 536.
Hirschvogel, Glasmalerfamilie 98.
Hobelmaschinen für Steinbearbeitung: Sprengscheiben 21, A 22; Fräskopf A 21; Werkzeughalter A 22; — für Toilettenseifen A 561.
Höchster Porzellanmarke 111.
Hoff, vant', Chemiker 309.
Hoffmannscher Ringofen zum Ziegelbrennen 129, A 130 f.
Hofmann, A. W., Chemiker 310, 411, 615, A 309.
Hohlgläser 230; — Grünglas- od. Flaschenfabrikation 230; — Glasbläserpfeife A 231; — Ofen mit Arbeitsbühne A 231; — Einstich A 232; — federnde Zange A 232; — Patentboden A 232; — Flaschenform zum vollständigen Ausblasen A 232; — Kühlofen 232, A 233; — Zangen und Glasscheren 236, A 234; — Glasform A 237 f.; — mit Ansatzstück A 237; — Holzbank zur Stahlarbeit 237, A 235; — Herstellung eines Stenaelglases A 237; — Arbeiten auf dem Stuhle mit der Zwickschere 237, A 235; — die verschiedenen Phasen eines Trinkglases bei seiner Herstellung 237, A 236.
Hohlziegel 128.
Holland, Kunsttöpferei in 97; — Porzellanmanufaktur 116.
Höllenstein 349.
Holz, seine Verwertung in der chemischen Industrie 495; — äußere Ansicht eines Meilers A 496; — Holzverkohlung im Meiler A 496; — Verkohlungscylinder, Verkohlungsofen, Kühler A 497 f.; — Verkohlungsretorte A 498; — Rektifikationsapparat für Essigsäure A 500; — Eindampfpfanne A 500; — Überführung von Essigsäure A 502; — Rektifizierapparat für Holzgeist A 504; — Apparat zur Gewinnung von Holzgeist A 503; — Gewinnung des Acetons A 505.
Holzessig 499.
Holzgeist 499, 504; — Apparat zur Gewinnung von 504, A 503; — Rektifizierapparat A 504.
Holzkohle für Schießpulverbereitung 451.
Holzkohleneisen 496.
Holznitrocellulose 472; — Knetmaschine zum Lösen der A 472.
Holzpottasche 328.
Holzteer 499, 504.
Holzwig (Porzellanfabr.) 111.
Hornblendegrünstein 6.
Hornfels, Gestein 6.
Hornstein 6.
Hunter, James (Knochenverwertung) 514.
Hurlet u. Campsie, Alaunwerke bei Glasgow 355.
Hyalitglas 251
Hyatt (Celluloid) 477.
Hydraulischer Kalk 39, 47.
Hydraulischer Mörtel 47, 327.
Hydraulische Presse zur Ölgewinnung aus Pflanzensamen A 542.
Hydraulische Warmpresse, horizontale, für Erdnußölgewinnung A 543.
Hydraulischer Zement 47.
Hydraulische Zuschläge (Puzzolane) 47 f.
Hydrosandstein 69.

Jatrochemie 298, 620.
Ilang-Ilang Öl 577.
Ilmenauer Porzellanmarke 111.
Imprägnieren des Holzes 500; — von Eisenbahnschwellen 396, 505.
Indigo, Farbstoff 605.
Indium, Element 314.
Indurit, Sprengstoff 472.
Infusorienerde i. d. Dynamitfabrikation 468.
Jod, Element 314; — Fabrikation 432, A 433; — Sublimation 434, A 435.
Jodkalium 435.
Jodnatrium 435.
Jodoform 682.
Jodothyrin 435.
Jonon 575; — Anordnung der Atome im künstlichen Veilchenaroma A 576.
Iridium, Element 314.
Irinyi, Stephan, Erfinder der Streichhölzer 491.
Irisöl (Iron, Jonon) 575.
Iron 575; — Anordnung der Atome im natürlichen Veilchenaroma A 576.
Isaac Hollandus, Naturforscher 297.
Ischyrota-Sandstein 68.
Isobutan, chem. Körper 316.
Isomere Körper (Chemie) 316.
Isomorphismus (Chemie) 308.
Israeliten, Glasmacherkunst der 169; — Kunsttöpferei 88.
Italien, Töpferei in 88, 91 f.

Jackson, Chemiker 628.
Janson (Töpferei) 103.
Jasmund, Halbinsel 86.
Jaspis 6.
Jaspisgut 147.
Jaspisware 109 f.
Johann Hollandus, Naturforscher 297.
Jönköping, Zündhölzchenfabrik zu 498.
Jonquillengelb 287.
Jurakalk 6, 33, 39.

Kabinettbilder in der Glasmalerei 282.
Kachein 138.
Kachelöfen 138.
Kadmium, Element 314.
Kadmiumgläser 249.
Kähler (Thonwarenind.) 102, 145.
Kainit, Verwendung in der Landwirtschaft 509; — Krystallform A 509.
Kairin 624.
Kakaobutter 544.
Kali in der Glasfabrikation 198; — chlorsaures 404, 475, 477; — in der Sprengstoffabrikation 474; — Krystallform A 405; — doppeltwirkende Luftkompressionsmaschine A 407; — chromsaures 357; — doppeltchromsaures 357; — gelbes chromsaures 357; — rotes chromsaures 357; — gelbblausaures 347; — kohlensaures 328; — oxalsaures 327; — salpetrigsaures 442.
Kaliber von Geschützrohren 457; — von Handfeuerwaffen 458.
Kalichloricum 404.
Kalilauge in der Seifenfabrikation 545.
Kalisalpeter 436, 475; — Krystallform A 439.
Kalisalze, Darstellung der, für Düngezwecke 509.
Kalisalzlager in Staßfurt 381.
Kalium, Element 314, 425.
Kaliumferrocyanid 475.
Kaliumkarbonat 198.
Kaliummetall 424.
Kaliummonochromat 357.
Kaliumpyrochromat 357.
Kaliumsulfat 199.
Kaliverbindungen 327.
Kaliwasserglas 262.
Kalk in der Glasfabrikation 189, 194; — essigsaurer 499; — gebrannter als Antiseptikum 630; — kohlensaurer 84, 194; — oolithischer 33; — phosphorsaurer 195, 201, 515; — präzipitierter phosphorsaurer 398; — saurer schwefligsaurer 368; — Entstehen und Vorkommen des K. in der Natur 31; — Pfeilerbau im Kalksteinbruch Rüdersdorf A 35; — Kreidebruch und Zementfabrik in Lägerdorf in Holstein A 37; auf Vorrat gearbeiteter Kreideberg in Lägerdorf A 38; — Verwendbarkeit der Kalkarten zur Mörtelbereitung 38; — Brennen in Kalköfen 39; — Trichterofen A 40; — Kalkofen mit langer Flamme 41, A 40, 41; — Schachtofen mit Generatorfeuerung 42, A 41; — Schachtofen mit Halbgasfeuerung A 42; — Kanal- oder Ringofen 43, A 42; — Löschen des Kalkes 44; — Ablöschen gebrannten K. in Löschbänken A 43; — Mörtelbereitung 44; — Sandentladestelle u.-stapelplatz der Vereinigten Berliner Mörtelwerke in Niederschönweide 46, A 45; — hydraulische Mörtel (Wassermörtel) und natürliche Zemente 47.
Kalkbrei 326.
Kalkbrennen 325.
Kalkhydrat 38.
Kalklicht, Drummondsches 591.
Kalkmilch 44.
Kalknieren (Septarien) 48.
Kalköfen als Kohlensäurequellen 640.
Kalksandstein 7.
Kalksinter 33, 194; — faseriger 33.
Kalkspat 194; — faseriger 33.
Kalkstein 325; — dichter 6.
Kalksteingut 142.
Kalktuff 7, 33, 194.
Kalkwasser 326.
Kalmusöl 574.
Kammeröfen, Mendheimsche 146, 158.
Kammgarn 384.
Kampecheholzrmin, Farbstoff 604.
Kampfer 572.
Kanalofen (Thonwarenind.) 131.
Kanal- od. Ringofen f. Kalkbrennerei 43, A 42.

Kündler (Porzellanfabr.) 110.
Künnchen aus Meißener Porzellan, bemalt mit Blumen A 166.
Kanonenpulver 475 f.
Kanonenrohre, Kaliber der 457.
Kaolin 112, 119, 149 f.
Karbolsäure 504; — Gewinnung aus Teer 600; — als Antiseptikum 631; — Formel A 681.
Karbonisieren der Lumpen 384.
Kasseler Ofen zum Ziegelbrennen A 129.
Kastanienbraun, Farbstoff 604.
Kastenwagen, hölzerne, für Steinbeförderung 30, A 29; — eiserner A 30.
Katakombengläser 177.
Kathedralglas 184.
Kaustifizieren der Soda 409.
Kaustische Soda 409; — Schmelzkessel A 410; — Eisentrommel f. d. Transport A 410.
Kautschuk, Vulkanisation 387; — als Kittmaterial 81.
Kayser, Architekt 67.
Kekulé, August, Chemiker 309, 312, 605, 608, A 312.
Kelley, Adept 297.
Kelp 198, 358.
Kelten, Glasmacherkunst der 172.
Keramit (Ziegelpflaster) 84.
Kernmaschine (Margarinefabrikation) 566, A. 567.
Kernseifen 548.
Kerzenfabrikation 551; — Dochtflechtmaschine A 555; — Dochttrockenapparat A 556; — Spulmaschine für Dochte 555, A 556; — Kerzengießmaschine 556, A 557.
Keßler, L. (Kunststeinfabr.) 80.
Keuperlandstein 7.
Kienruß 604.
Kies 191.
Kiesabbrände, Entkupferung der spanischen 379; — Desintegrator A 379.
Kieselguhr, Verwendung zu Bausteinen 77; — zu Sprengstoffen 466; — i. d. Glasfabrik. 191.
Kieselkalk 6.
Kieselsäure in d. Glasfabrikation 188, 191.
Kieselschiefer 6 f.
Kieselsinter 191.
Kieseltuff 191.
Kieserit 510.
Kinsky (Glasfabr.) 178.
Kipphammer f. Steinbearbeitung 19, A. 13.
Kirchhof (Salpetersäurefabr.) 445.
Kirchmaier, Chemiker 485.
Kirn (Glasfabr.) 219.
Kitte 81.
Klammern i. d. Glasfabr. 215.
Klaproth, Chemiker 305, 486.
Klarschleifen d. Spiegelglasplatten 246.
Klebes Ramme 53.
Kleemann, Ingenieur 404.
Kleingeschläge für Chausseebau 9.
Klinker 146.
Knallquecksilber 465, 475.
Knallsatz, Explosivstoff 475.
Knetmaschine für Margarine 568, A 569; — zum Lösen der Nitrocellulose im Lösungsmittel A 472.
Kniehebelzange A 29.
Knochen, Zusammensetzung der 486; — in der Seifenfabrikation 540; — als Düngemittel 514.
Knochenerde 196.
Knochengips 7.
Knochengries 514.
Knochenkohle 514.
Knochenleim 514 f.; — Herstellung 396; — Leimschneideapparat A 398.
Knochenmehl 515.
Knochenporzellan 105, 161.
Knochenschrot 514.
Knöpfe aus Porzellan, Herstellung 161; — Brennofen 162, A 165.
Knuppen (Tuffstein) 49.
Kobalt, Element 314; — als Glasfärbemittel 201.
Kobaltoxyd 200.
Köber, Gustav (Kunstwollfabrikation) 384.
Kochsalz i. d. Glasfabrikation 198.
Kochsalzindustrie 359; — Kochsalzkrystall A 359; — Gradierwerk A 360; — Ofen zum Versieden der Salzsole A 361; — Überführung des Kochsalzes in Soda 362; — Ofen zur Umwandlung des K. in Glaubersalz 388, A 389.
Kohle als Glasfärbemittel 201.
Kohlendioxyd 367.
Kohlenkalk 6.
Kohlensandstein 7.
Kohlensäure, Verflüssigung der 689; — Gewinnung aus Kalköfen 325, 640.
Kohlensäurebomben 631, 640.
Kohlensäurequellen 639; — zu Burgbrohl 639; — zu Obermendig 640; — Kalköfen als 325, 640.
Kohlenstoff, Element 314, 605; — Lagerung der Kohlenstoffatome und der Wasserstoffatome im Benzol A 317.
Kohlenstoffchemie 315, 605.
Kohlenstoffsteine 133.
Kohlenstoffverbindungen 605.
Kohlenwasserstoff 316.
Kokosnußöl in der Seifenfabrikation 544.
Koks 583.
Kolbe, Chemiker 631.
Kollergang i. d. Blutlaugensalzfabrikation A 343; — mit Siebtrommel f. Glashafenthonverarbeitung A 207; — für Phosphate A 520; — zum Auspressen von Oliven A 541; — für Schießpulverfabrikat. 454; — i. d. Teerfarbenfabrikation 614.
Kollodium 471.
Kölner Krüge 101.
Kölnische Thonpfeifen 145; — Brennen der Th. A 146.
Kolophonium 573; — in der Seifenindustrie 545.
Kolumbusstatue der Alsenschen Portland-Zementfabriken 61, A 60.
Kompressor f. Cellulosegewinnung mittels Schwefelsäure 368, A 369.
Kongorot, Farbstoff 619.
Königswasser 296, 396, 446.
Kontaktsubstanz 372, 406.
Konturieren und Malen auf Glas A 283.
Konversionssalpeter, Herstellung 441, A 442.
Konzentrieren der Schwefelsäure 380; — Apparate A 380 f., 382.
Kopenhagen, Porzellanmarke von 116, A 112.
Kopfsteinpflaster 12.
Kopra (Kokosnußkern) 544.
Koprolithen 518.
Korallen, Kalkbildung durch 31.
Korksteine 77.
Körnige Gesteine 4.
Körnmaschine f. Schießpulverfabrikation 455, A 455.
Korobos, griech. Töpfer 88.
Korund, künstlicher 259.
Korzec, Porzellanmarke von 116, A 112.
Krafft, Joh. Daniel, Arzt 485.
Kralik, W. (Glasfabr.) 261
Kraner, Otto (Kunststeinfabr.) 80.
Kräftigwerden des Glases 230.
Kraushammer f. Steinbearbeitung 14, 19, A 13.
Kreibitz, Glasfabrikation 178.
Kreide 6, 36, 194; — Kreidebruch und Zementfabrik in Lägerdorf in Holstein 36, A 37; — auf Vorrat gearbeiteter Kreidebergin Lägerdorf in Holstein 36, A 38.
Kreosot 504.
Kreosotöl 600.
Kreußen, Töpferei in 99.
Kriwanek, Chemiker 498.
Kröneleisen für Steinbearbeitung 19, A 13.
Kronenbohrer (Steinbearbeitung) 23.
Kronglas 286.
Krug von Nidda (Kalisalze) 332.
Krüge, Nachbildung alter 102, A 100; — flandrische 101; — Kölner 101; — Nassauer 101; — Siegburger 101.
Kryolith 252.
Krypton, Element 314.
Krystallform des gelben Blutlaugensalzes A 341; — des roten Blutlaugensalzes A 352; — des Flußspates A 427; — des Kainits A 509; — des chlorsauren Kali A 405; — des Kalisalpeters A 439; — des Kochsalzes A 359; — des Natronsalpeters A 440; — des Pyroluxit A 401; — des Schwefels A 363; — der Soda A 394.
Krystallglas, Schleifen und Polieren des A 267; — böhmisches 235.
Krystallin, chem. Stoff 310.
Krystallinische Gesteine 4.
Krystallisation in der Chemie 322.
Krystallisationsschale (Margarinefabrikation) A 566.
Kugelmühle f. Phosphate A 521; — zum Zerkleinern des Quarzes (Glasfabr.) 193, A 196.
Kühlbecken von Delfter Favence mit flünffarbiger Scharffeuerbemalung A 138.
Kühlkasten für Seifen 549, A 548.
Kühlmuffeln 166.
Kühlöfen i. d. Glasfabrikation 228, 232, A 233.
Kühlofen, Gußtisch u. Schmelzofen in einer Spiegelfabrik A 245.
Kümmelöl 574.
Kunckel, Chemiker 249, 484 f.; — Becher aus Kunckelglas mit Hochschnitt A 251.
Kunstbutter 561.
Kunstdünger f. Düngemittel.
Kunstfeuerwerkerei 476.
Kunstgelb (Glasmal.) 279.
Kunststeine 66; — Sandstein 67; — Granit (Terrazzo), Granito, Granitoid 73; — Nachahmungen natürlicher Steine für den inneren Ausbau 74; — Oberflächen-Härtungsmittel u. Steinkitte 80; — Pflastersteine 83.
Kunsttöpferei s. Thonwarenindustrie.
Kunsttuffsteine 77.
Kunstwolle, Karbonisieren der 384.
Kupfer, Element 314; — als Glasfärbemittel 201; — essigsaures 503.
Kupfereisengrün 287.
Kupfergewinnung aus Kiesabbränden 379.
Kupferglanz 368.
Kupfergrün 287.
Kupferoxydulglasur 160.
Kupferrubinglas 250.
Kyanol, chem. Substanz 311.

Laboratorien, Feuerungsanlage f. chemische 324.
Laboratoriumsfilterpresse (Blutlaugensalzfabrikation) A 343.
Labradorit 149.
Labradorporphyr 6.
Lachgas 627.
Lack 561.
Lackmusfarbstoff i. d. Chemie 315.
Ladenburg, Chemiker 622.
Lägerdorf, Kreidebruch und Zementfabrik in 36, A 37; — auf Vorrat gearbeiteter Kreideberg 36, A 38.
Lahnphosphorite 518.
Lamingsche Masse 346, 585.
Lampadius, Chemiker 336.
Lanfranco (Kunsttöpferei) 93.
Lanthan, Element 314.
Lapis lazuli, Farbstoff 602.
Larix europaea 573.
Lasur (Glasfabr.) 249, 261.
Lasurstein 602.
Laurent, Chemiker 504.
Lava 7.
Lavoisier, A. Laurent, Chemiker 303, 374, A 303; — Versuch über die Zusammensetzung der Luft 303, A 304.
Lebenskraft 507.
Leblanc (Sodafabr.) 362, 388, 400.
Lecoq, Chemiker 317.
Leeds, Porzellanmarke von 116.
Leempool, van (Glasfabr.) 182.
Leeren (Töpferei) 136.
Lefebvre (Pulverfabr.) 455.
Lehm 120.
Lehmglasuren 134.
Leichtöl (Teerdest.) 598; — Kolonnenapparat zur Reinigung A 598.
Leinöl in der Seifenfabrikation 541.
Leinölfirnis 561.
Leinölfirnisanstrich 80.
Leinölkitt 81.
Leinölsäure 561.
Lemery (Schwefelsäurefabr.) 374.
Lenk (Schießbaumwolle) 461.
Leuchter aus Porzellan, komponiert von P. Schley A 160; — aus der königlichen Porzellanmanufaktur zu Meißen A 118.
Leuchtgas aus Steinkohlen 582; — Darstellung f. Vorlesungszwecke 582, A 583; — Darstellung im großen A 585; — Berliner Gasbeleuchtung 588; — Argandbrenner A 589; — Siemens'

invertierter Regenerationsbrenner A 590; — Magnesiakamm A 592; — Konstruktion des Gasglühlichtbrenners A 593.
Leykauf, Chemiker 608.
Liaskalk 6.
Libavius, Arzt 299.
Liber ignium von Marcus Graecus 449.
Lichtbilder 156.
Lichtbrechung des Glases 186.
Lichtchen, Turiner 490.
Lichterscheinungen bei der Explosion der verschiedenen Sprengstoffe T 476.
Liebig, Chemiker 308; — künstliche Düngung 507, 516; — Liebigsches Chankalium 348.
Lilkofabrikation 577 (siehe Bd. IV.).
Lille, Porzellankabrik in 115.
Limbacher Porzellanmarke 111, A 112.
Limoges, Emailmalerei in 259.
Lindes Verfahren zur Verflüssigung der Luft A 643.
Linsen, optische, Herstellung 255.
Lint (Glasfabr.) 181.
Liquidambar orientalis, styraciflua 578.
Lister, Chirurg 630.
Lithium, Element 314.
Lithophanien 156.
Lithyalin 251.
Lobmeyr (Glasfabr.) 251.
Lochetsen f. Steinbearbeitung 19, A 13.
Löschen des Kalkes 44, 326.
Lüdersdorf (Vulkan. d. Kautschuks) 388.
Ludwigsburger Porzellanmarke 111, A 112.
Luft, Lavoisiers Versuch über die Zusammensetzung der A 304; — Verflüssigung der 641; Verfahren nach Linde A 643.
Luftdruckmeißel 20.
Luftkompressionsmaschine, doppelt-wirkende A 407.
Luftmörtel 44, 326.
Lugolsche Lösung 435.
Lullus, Raymundus, Chemiker 297.
Lumpen, Karbonisation der 384.
Luna, Gebr., Glasmacher 175.
Lüneburg, alte Giebelhäuser vom Sande A 65.
Lunge-Rohrmannscher Plattenturm (Schwefelsäurefabrikation) 377, A 378; — Salzsäurekondensationsanlage 395, A 397.
Lüster in der Porzellanfabrikation 163; — in der Steingutfabrikaton 145.
Lustgas 627.
Lysol, Antiseptikum 631.

Macquer, Chemiker 118.
Magerkalk 39.
Magerung des Thones 118.
Magnes lapis 172.
Magnesia i. d. Glasfabrikation 189, 195.
Magnesiafluat 80.
Magnesiakamm (Gasglühlicht) A 592.
Magnesiasteine 78, 133.
Magnesium, Element 314, 425.
Magnesiumfluat 80.
Mahlvorrichtung für Superphosphat 528, A 522
Mainzer Porzellanmarke 111, A 112.
Majewski, H. A. (Kunststeinfabrikation) 75.
Majolika (Töpferei) 91 f., 134.
Majolikaplatte von Ginori in Doccia A 98.
Malachitgrün 618 f.
Malerfarben, Herstellung durch chromsaures Kali 557.
Mammutpulver 456.
Mandragora, Wurzel der 626.
Mangan, Element 189, 201, 314; — borsaures 561.
Manganfarben 603.
Mangansamtbraun 604.
Mangansuperoxyd 200.
Mansell (Glasfabr.) 218.
Mansfeld, Chemiker 311.
Marcolini (Porzellanfabr.) 110.
Marcus Graecus, griechischer Schriftsteller 449, 453.
Margarinefabrikation 561; — Schmelzkessel für Fett A 565 f.; — Fettmahlmaschine A 565; — Fettschneidemaschine 565, A 564; — Temperierkessel 565, A 566; — Kernmaschine 566, A 567; — Kristallisationsschale A 566; — Transportwagen A 568; — Walzmaschine A 568; — Knetmaschine 568, A 569; — Formmaschine 569, A 570.
Margaritae 174.
Margaritone (Gipstechnik) 65.
Marienglas 61.
Marineleim 83.
Marmor 6, 33, 39; — blauer 34; — carrarischer 34; — künstlicher 74; — schwarzer 75; — violetter 34.
Marmorierte Gläser 258.
Maschinenöl 635.
Massenmühle der Porzellanfabrik von Rießner, Stellmacher u. Kessel in Turn-Teplitz 150, A 151.
Massicot (Bleigilbe) 197.
Massige Gesteine 4.
Massud (Raphta) 636.
Mattätzung (Glasind.) 271.
Mattbäder (Glasätzung) 271.
Mattieren der Steine 26.
Mauerkelle für Schieferdecker 28, A 27.
Mauerziegel, Herstellung der 122; — Durchschnitt durch eine Anlage mit Elevator zum Transport des Thones zur Presse A 134; Elevator für fertige Ziegeln A 125; — Trockenanlage nach Möller & Pfeifer 126; — Trockenanlage nach Schaaf 125, A 126; — Terrakottarelief „Die Industrie" am Rathaus zu Berlin von E. March Söhne A 127; — altdeutscher Ofen A 129; — Kasseler Ofen A 129; — Hoffmanns Ringofen 129, A 130 f.; — Kanalofen von Bock 131.
Maulbrecher f. Steinzerkleinerung A 10.
Maumené (Pottasche) 330.
Mauvein, Farbstoff 311, 615.
Maximpulver 475.
Medizinische Chemie 298.
Meereskalk 33.
Meerwasser, seine Bedeutung f. Kochsalzgewinnung 359, 361.
Meiler z. Kalkbrennen 40; — f. Holzverkohlung 496, A 496.
Meißen, Porzellanmanufaktur in 110, 116; — große Vase A 114; — Vasen u. Leuchter A 115; — Männchen, bemalt mit Blumen A 166; — Meißener Kacheln 138.
Meisterlauge (Seifenfabr.) 546.
Melan (Baumaterial) 61.
Melasse, Gewinnung von Pottasche aus 329.
Melassenasche 330
Mendelejeff, Chemiker 309; — System der Elemente 317 f.
Menhheimsche Kammeröfen 146, 158.
Mengtrommeln für Pulverfabrikation 454.
Mennige i. d. Glasfabrikation 188, 196 f.
Mergel 39.
Merle, Geolog 518.
Metabichlorbenzol, Schema A 608.
Metaderivat 608.
Metallfarben 604.
Metallverzierungen i. d. Glasmalerei 287.
Metargon, Element 314.
Methan, Kohlenstoffverbindung 314.
Methyl, chem. Körper 316.
Methylalkohol 499, 504, 611.
Methylanilin 315.
Methylanilin 610; — Konstitutionsformel A 610.
Methylbenzol 607.
Mettlacher Platten 146; — Herstellung A 146.
Meyer, Viktor, Chemiker 309.
Mezzamajolika (Töpferei) 91 f.
Michaelis, W. (Kunstsandstein) 69.
Michaelis Hebelapparat 53.
Mikroskopobjektive, Herstellung 255.
Milchglas 185, 251.
Milleflorglas 175, 254.
Millefleurs, Extrait 580.
Millefleurs-Räucherterz. 579
Milly, de (Kerzenfabr.) 553.
Minium (Mennige) 197.
Minton (Fayence) 105; — Dirongesichtre A 96.
Miotti (Glasfabr.) 174 f.
Mischkessel (Seifenfabr.) A 546.
Mischerlich, Chemiker 308, 3368.
Mittelgut (Porzellan) 159.
Moffetten i. d. Eifel 639.
Möhles Kunstsandstein 68.
Maissan, Chemiker 427.
Molassesandstein 7.
Moldenhauer (Feuerzeuge) 491.
Molekülle, Begriff der 313.
Möller & Pfeiferische Ziegeltrockeneinrichtung 126.
Mollusken, Kalkbildung durch 31.
Molybdän, Element 314.
Monazitsand 592.
Mond, Chemiker 411.
Mondglas 244.
Monier-Bauweise 61.
Montejus i. d. Schwefelsäurefabrikation 376; — i. d. Ammoniaksodafabr. A 417.
Morin (Porzellanfabr.) 113.
Morion, Pflanze 626.
Morphium 620 f., 625.
Morphium muriaticum, hydrochloricum 621.
Mörsermühlen z. Zerkleinern d. Quarzes (Glasfabr.) 193.
Mörtelbereitung aus Kalk 38, 44, 326; — Sandentladestelle und -Stapelplatz der Verein. Berliner Mörtelwerke in Niederschönweide 46, A 45.
Morton, Zahnarzt 628.
Moschus 578.
Mottersche Mörsermühle (Glasfabr.) 193.
Mouriés, Chemiker 562.
Moustier, Fayencefabriken 96.
Muffel i. d. Glasmalerei 290; — i. d. Porzellanmalerei 165, A 166; — gefüllte Muffel vor dem Feuer A 167.
Muffelofen für die Glaubersalzfabrikation 389, A 390.
Muldenkipper f. Steinbeförderung A 30.
Mulmen (Manganverb.) 603.
München, Glasmalerei in 288.
Mungo (Wolle) 384.
Murano, Glasindustrie auf 178 f.
Muschelkalk 6, 33, 39.
Mutterlauge (Chemie) 322.
Myrrhe, Myrrhenharz 578.

Nagelreißer f. Schieferdecker 28, A 27.
Naphtaindustrie b. Baku 634.
Naphtalin 600, 622; — Konstitutionsformeln A 608, 622.
Naphthylamine, Schema der A 610.
Narcotin 620.
Narkose 626 f.
Nassauer Krüge 101.
Natanson, Chemiker 615.
Natrium, Element 314; — Gewinnung mittels Elektrolyse nach Castner A 426.
Natriumbikarbonat 416, 418.
Natron i. d. Glasfabrikation 197; — doppeltkohlensaures 408; — Gewinnung mittels natürlicher Kohlensäure A 408; — essigsaures 499; — gelbblausaures 547; — salpetrigsaures 442; — schwefligsaures 434; — unterschwefligsaures 369.
Natronlauge (Seifenfabr.) 545.
Natronsalpeter 439; — Kristallform A 440.
Natronseen in Asien 358.
Natronseife 547.
Natronwasserglas 262.
Naturgas 653.
Naumann (Blutlaugensalzfabrikation) 335.
Neapel, Porzellanfabrikation in 115; — Marken 115, A 112.
Neapelgelb 286, 602.
Nehou, Lucas de (Spiegelfabr.) 182, 244.
Nehse (Glasschmelzofen) 226.
Nehse-Klattenhoffsche Schmelzöfen 226.
Neikendl 574.
Neon, Element 314.
Neroli pétale 575.
Neuhaus, Gußspiegelfabrik in 182.
Nevers, Fayencefabrikzeichen von 96, A 88.
Newlands, Chemiker 317.
Nicholson, Chemiker 423.
Nickel, Element 314.
Nickeloxyd 200.
Nicotin 620.
Niederschönweide, Sandentladestelle u. -stapelplatz der Verein. Berliner Mörtelwerke in 46, A 45.
Niemstädt (Trockenäpfen) 273.
Niobium, Element 314.
Nitrieren d. Baumwolle 461.
Nitrierzentrifuge A 468.
Nitroalizarin 623; — Formel A 624.

Nitrobenzol 575, 608; — Formel A 624.
Nitrocellulose 472; — Knetmaschine zum Lösen der N. im Lösungsmittel A 472.
Nitroglycerin 475; — Herstellung von 466; — Nutzbarmachung d. Abfallsäure nach Chardonnet A 469.
Nitromannit, Sprengstoff 466.
Nitrosylschwefelsäure 376.
Nitrum 172.
Nobel, Alfred, Chemiker 466, 635, 473.
Nöllner (Salpeterfabr.) 441.
Nummulitenkalk 33.
Nürnberg, Töpferei in 98.
Nutschapparat (Ammoniaksodafabr.) 419, A 419; — für Laboratorien A 420.
Nymphenburger Porzellanmarke 111, A 112.
Nyon, Porzellanmarke von 115, A 112.

Obelisken 3.
Oberflächenhärtungsmittel f. Bausteine 80.
Obermendig, Kohlensäurequelle zu 640.
Objektive (Opt.), Herstellung 255.
Ockergelb 287.
Öfen aus Thon 138; — altdeutscher, zum Ziegelbrennen A 129; — Kasseler A 129; — mit aufsteigender Flamme für Porzellanbereitung 157, A 156; — altdeutsche Zimmeröfen 138.
Oirongeschirre, Nachbildungen von Minton A 96.
Öle, Verwertung in der chem. Industrie s. Fette u. Öle: — Dippelsches 622; — trocknende und Firnisse 660.
Oleomargarin 566.
Oleum 370.
Oleum petrae 632.
Oleum vitrioli, sulfuris 373.
Ölfarbe 561.
Ölgewinnung aus Pflanzensamen, hydraulische Presse für A 542.
Ölheim, Erdölquelle zu 687.
Oligoklas 149.
Oligoklasporphyr 6.
Olivenöl in der Seifenfabrikation 541; — Kollergang zum Auspressen von Oliven A 541.
Olkitte 81.
Ölsäure 552.
Olschewsky (Kunststein) 70.
Olstuckatur 64.
Ölsüß 558.
Oltosy (Zündhölzer) 494.
Oolithischer Kalk 33.
Opale in der Glasfabrikation 191; — künstliche 259.
Opalescentglas 184.
Opium 620.
Opiumalkaloide 621.
Optumsalz 620.
Optisches Glas, Herstellung 255; — Glasarten 257.
Orangenblütenöl 575.
Orangenöl 574.
Ornamentziegel 127.
Orthobichlorbenzol, Schema A 608.
Orthoderivat 608.
Orthodinitrobenzol, Konstitutionsformel von A 609.
Orthollas 149.
Orthophenyldiamin, Konstitutionsformel A 609.
Orville, Phosphatlager bei 518.
Osmium, Element 314.
Osteolit 195.
Ottel (Elektrochemie) 426.
Otto (Schießbaumwolle) 460.
Oxalsäure 506.
Oxalsäuredimethylester 504.
Oxynaphtalin, Schema A 610.
Ozokerit (Erdwachs) 554.

Paalhorn (Glasfabr.) 186.
Pakerdachziegel 128.
Palissy, Bernhard 98 f., A 94; — emaillierte Platte von A 95; — Monogramm A 92.
Palladium, Element 314.
Palmer, Töpfer 100, 104.
Palmitinsäure 552.
Palmkernöl in der Seifenfabrikation 543.
Palmöl in der Seifenfabrikation 543.
Pampes Ammoniak-Destillationsapparat 532, A 533.
Papier als Baumaterial 79
Papierfabrikation, Cellulosegewinnung mittels schwefliger Säure in der 367.
Papyrolith, Kunststein 79.
Paque, Chemiker 559.
Parabichlorbenzol, Schema A 608.
Paracelsus von Hohenheim, Alchemist 298, 628, A 299.
Paraderivat 608.
Paraffin 475, 553.
Paraffinkerzen 552.
Paré, Ambroise, Arzt 626.
Parfümerie 577; — Mischmaschine für extraits d'odeurs A 579; — Seifentrockenschrank A 580; — Seifenwalzmaschine (Broyeuse) A 581; — Seifenspanbodelmaschine A 581; — Seifenballmaschine (Boudineuse) A 582.
Parian, Porzellanart 161.
Paris, Porzellanmanufaktur 114; — Porzellanmarke 115, A 112.
Pariser Blau 347
Pariser Porzellan 161.
Parker, James (Zementfabr.) 48.
Parkes (Vulkan. d. Kautschuks) 388.
Parvillée (Fayence) 102; — Fayencen im persischen Stile A 98.
Passauer Graphit 133.
Paßglas 176.
Pasten in der Steingutglasur 144.
Pastenmalerei 144.
Patchouliöl 576.
Patentboden (Glasfabr.) A 232.
Pechelbronn, Erdölindustrie zu 637.
Pechkohle (Teerdestill.) 595.
Pechstein, Gestein 7.
Pelouze (Glasfabr.) 185.
Penangöl 576.
Perkin, Chemiker 311, 615.
Perlen, gewickelte 262.
Perlenessenz 264.
Perlenfabrikation 264.
Permanentweiß, Farbstoff 601.
Pernambukholz 604.
Peru, Guanolager in 528.
Pesaro, Majolikafabrikation in 93.
Petersburg, Porzellanfabrik in 116; — Marke 116, A 112.
Petroleumindustrie 632; — Petroleumquelle A 633; — Mischung des Rohpetroleums mit den Waschflüssigkeiten mittels gepreßter Luft A 634; — Verfeuerung von flüssigem Brennmaterial A 636; — Petroleumprobern nach Abel A 638.
Petrophit, Kunststein 79.
Pfeifer (Cocainbereit.) 621.
Pfeifenthon 145.
Pfeiffer, Jakob (Kunstsandstein) 70.
Pferdefett in der Seifenfabrikation 541.
Pflanzenteilen, Veraschung von, in einem Platintiegel A 508.
Pflaster (fettsaures Blei) 558.
Pflaster, Wiener 12.
Pflastersteine 12, 33; — Steinhauerwerkzeug 12, A 13; — Schutzhütte für Steinhauer A 14.
Pharaoschlangen 352.
Phenylamin 609.
Phenylendiamin 609.
Phenylhydrat 604.
Phiolerl de Muran (Glasind.) 174.
Phlogistiker 301.
Phlogiston, chem. Körper 301.
Phönikier, chemische Kenntnisse der 295; — Glasfabrikation 170.
Phonolith, Gestein 7.
Phosphate, Aufschließen der 515; — Steinbrecher für Phosphorite 520, A 519; — Kollergang A 520; — Patentkugelmühle nach Löhnert 520, A 521; — Aufschließmaschine A 521; — Desintegrator A 523; — Mahlvorrichtung f. Superphosphat 523, A 522; — Schüttelsieb A 524; — Rütteldarre für Superphosphattrocknung 524, A 525.
Phosphate als Düngemittel 514.
Phosphat-Crown 257.
Phosphatgips 526.
Phosphatlager 518.
Phosphor, Element 314; — Geschichte 483; — Eigenschaften 489; — Fabrikation 486; — Apparat zum Reinigen des Ph. 488; Presse zum Reinigen A 488; — Darstellung des roten oder amorphen Ph. A 489; — Anwendung zu Feuerzeugen 490.
Phosphorit 61, 195, 514, 517.
Phosphorlatwerge 490.
Phosphorpillen 490.
Phosphorsäure, citratlösliche 527.
Photographie, unterschwefligsaures Natron in der 370.
Photolithographien, Verwendung des roten chromsauren Kali bei 357.
Plastenkrüge 99.
Picke f. Steinbearbeitung 18.
Pictet, Chemiker 689.
Pigmentdrucke 357.
Pikratpulver 475.
Pilgerflaschen 140.
Pilgerkrug 108, A 104.
Pilieren der Seifen 580.
Pimpinella anisum 574.
Pintglasur 160.
Pinten, Siegburger (Kölner) 101, 103.
Pinus silvestris, strobus 573.
Pisolith (Kalk) 33.
Planbetrieb (Ziegelfabr.) 125.
Plänerkalk 39.
Plastomenit, Sprengstoff 472.
Plateauwagen für Steinbeförderung 30, A 29.
Platin, Element 314; — Gewinnung des 447.
Platinchlorid 447.
Platinfeuerzeug, Döbereinersches A 482.
Platinsalmiak 447.
Platinschwamm 447, 482.
Plattenturm, Lunge-Rohrmannscher (Schwefelsäurefabr.) 377, A 378.
Plinius, chemische Kenntnisse bei 296; — über Alaun 353.
Plymouth, Porzellanmanufaktur 116; — Marke 116, A 112.
Polieren des Glases 265, A 267; — der Spiegelglasplatten 246; — der Steine 25; Polier- und Schleifmaschine 24, A 25.
Pomaden 580.
Pomeranzenöl 574.
Porcelaine dure, tendre 113.
Poröse Gesteine 4.
Porphyr, roter 5.
Porphyrartige Gesteine 4.
Porphyrische Gesteine 4.
Porphyrischer Trachyt 6.
Portland-Vase 171, A 173.
Portland-Zement 49; — Fabrik „Stern" in Zinkenwalde 54, A 55; Lagerplatz für Zementröhren A 59; — Fabrik in Heidelberg 57; — Kolumbustatue der Alsenschen P.-Z.-Fabriken auf der Weltausstellung zu Chicago A 60.
Porzellan, Erfindung des 105, 107 f.; — Entstehung des Namens 106; — ägyptisches 100; — Réaumursches 113; — Gefäße, chinesische A 103; — chinesisches Fischbecken aus dem 18. Jahrh. A 106; — Vase von Fontenoy aus der Porzellanmanufaktur von Sèvres A 113; — große Vase aus Meißen A 114; — Vasen und Leuchter aus Meißen A 115; — Theetopf aus französ. Weichporzellan A 159; — Leuchter komponiert von Paul Schley A 160; — Riechfläschchen aus englischem Weichporzellan A 161; — Standuhr aus dem 18. Jahrhundert A 162; — Fliesengemälde von A. Kips im Kaiserlichen Schloß zu Berlin A 163; — Krüchen aus Meißner Porzellan, bemalt mit bunten Blumen A 166.
Porzellanerden 119.
Porzellanfabrikation 149; — Hartporzellan 149; — aus der Massenmühle der Porzellanfabrik von Nießner, Stellmacher und Nessel in Turn-Teplitz 150, A 151; — Dreherei-Saal 152, A 153; — Brennofen 157, A 155; — Ofen mit aufsteigender Flamme 157, A 156; — Kuntöfen der Königlichen Porzellanmanufaktur zu Berlin mit überschlagender Flamme A 157; — Brennen in Kapseln A 158; — Weichporzellan 159; — Biskuit- oder Figurenporzellan A 161; — Knochenporzellan 161; — Porzellanmalerei 164; — Brennöfen für die Fabrikation von Porzellanmöpfen A 165; — Muffelkonstruktion A 166; — gefüllte Muffel vor dem Feuer A 167; — Tellerteller vom

Service Friedrichs d. Gr. A 168.
Porzellanknöpfe, Herstellung der 161; — Brennofen 162, A 165.
Porzellanmalerei 164.
Porzellanmarken 111 f., A 111 f.
Potentit, Explosivstoff 476.
Pottasche 328; — Ofen zur Wiedergewinnung der Betriebspottasche (Blutlaugensalzfabr.) A 345.
Pötzsch, Otto (Pflastersteine) 85.
Poudrettedünger 536.
Premier jus 565.
Preßhel (Feuerzeuge) 491.
Preßglas 238; — Geistlersche Glaspresse 240, A 239; — Schnellpresse A 240.
Preßkuchen 542, 544, 568.
Preßstangen in der Seifenfabrikation 551, A 550.
Preußner (Kunststeinfabr.) 79.
Priestley, Chemiker 302, 423, 627.
Prismatisches Pulver A 456.
Profankenster „Italienisches Gastmahl" (Glasmalerei) A. 281.
Progreïsit, Sprengstoff 476.
Prometheans (Feuerzeug) 488.
Propan, chem. Körper 316.
Proust, Chemiker 306, 486.
Prudde, John (Glasfabr.) 181.
Prunkgläser, geschliffene A 266.
Pulver s. Schießpulver.
Pumbse (Chamotteplatten) 157.
Puzzolanerde (hydraulische Zuschläge) 47 f.
Puzzolan-Zement 49.
Pyramiden 8.
Pyridin 622; — Schema A 622.
Pyritabbrände 379.
Pyrite in der Schwefelsäurefabrikation 378.
Pyroluſit, Krystallform des A 401.

Quarz 149 f.; — in der Glasfabrikation 191; — Flammofen zum Glühen des Qu. 192, A 193; — Kollergänge 193; — Mörsermühlen 193; — Carrsche Schleudermühlen 193, A 194 f.; — Kugelmühle 193, A 196.
Quarzfels 6.
Quarzit 6.
Quarzporphyr 5.
Quarzsand als Schleifmittel 24.
Quarzsandstein 7.
Quecksilber, Element 314.
Quecksilberchlorid 630.
Quecksilberfluorür 427.
Quercitron, Farbstoff 605.
Quercus nigra 605.

Radi, Lorenzo (Glasfabr.) 176.
Radiolarien, Kalkbildung durch 32.
Raeren, Töpferei in 101; — Schnabelkrug aus grauem Steinzeug A 148.
Raffaelgeschirre 93.
Raffinierschiffchen (Glasfabr.) A 215.
Raffinieren des Schwefels 365, A 366.
Rahmenfilterpresse (Blutlaugensalzfabr.) A 342.
Ranzigwerden des Glases 230.
Rasenseifenstein 585.
Rasierseifen 547.
Räucherkerzen 578.
Rauchlose Pulver 471.
Rauhschleifen der Spiegelglastafeln 246.
Rauhsteine 14; — Steinkeile 15, A 13; — Spaltkeile A 15.
Ravensteiner Porzellanmarke 111, A 112.
Readman, Chemiker 345, 488.
Réaumursches Porzellan 118, 185.
Regenbogenfarbene Gläser 254.
Regenerativgasbrenner, invertierter, von Siemens A 590.
Regensburger Töpferei 99.
Regnault (Porzellanfabrikat.) 116.
Rehbraun, Farbstoff 604.
Reibfeuerzeuge 480.
Reibzünder, Congrevesche 483.
Reibzündhölzer 491.
Reichenbach, Chemiker 553.
Reisglas 185, 251.
Rektifikationsapparat f. Essigsäure A 500; — für Holzgeist A 504.
Rekuperativ-Glasschmelzöfen 226.
Renaissancekrug der Wächterbacher Steingutfabrik A 101.
Respirationsapparat f. Chlorkalkarbeiter A 404 f.
Retortenkohle 587.
Reverend (Fayencefabr.) 118.
Rhazes, Chemiker 296.
Rhodanaluminium 351.
Rhodankalium 351.
Rhodankupfer 352.
Rhodanquecksilber 352.
Rhodium, Element 314.
Richter (Knochenverw.) 514.
Richter, J. B., Chemiker 306.
Richtscheite (Steinbearb.) 19.
Ricinölsäure 561.
Riechfläschchen aus englischem Weichporzellan A 161.
Riegel in der Seifenfabrikation 550.
Ringe in der Glasfabrikation 215.
Ringler (Porzellanfabr.) 111.
Ringofen für Kalkbrennerei, 48, A 42.
Ringofen zum Ziegelbrennen von Fr. Hoffmann 129, A 130 f.
Rio-Tintokiese, Entkupferung der 379.
Robbia, Luca della 92; — Terrakotte von A 91.
Roburit, Explosivstoff 476.
Rockefeller (Petroleumindust.) 688.
Rockingham, Porzellanmarke von 116.
Roebuck (Schwefelsäurefabr.) 374.
Rogelet (Pottasche) 330.
Rogenstein (Kalkstein) 6, 38.
Rohrmann, Gewinnung von Eisessig 501; — s. Lunge-R.
Rohschwefel 364.
Roh-Soda 198.
Rohstein 371.
Rotwood (Fayence) 102.
Roman-Zement 47 f.
Römer, Backsteinbau der 90; — Baukunst 3; — chemische Kenntnisse 296; — Glasmacherkunst 171 f.; — Töpferei 88 f.
Römer (Glas) 179.
Rosanilin, Farbstoff 311, 617; — Schema A 618.
Rose, Chemiker 628.
Rosenöl 576.
Rosenöltinktur 579.
Rosenpomade 580.
Rosenräucherkerzen 579.
Rosenwasser 576.
Rossi, Geronimo (Rosenöl) 576.
Rösten des Pyrits (Schwefelsäurefabr.) 378.
Röstofen in der Alaunfabrikation A 354.
Rotes Glas 249.
Rotfeuer 477.
Rotholz 604.
Rotierender Cylinderofen für Sodafabrikation 391, A 392.
Rottung in der Porzellanfabrikation 152.
Rouen, Fayencefabriken in 96; — Töpferei 113.
Rubidium, Element 314.
Rubin (Schießpulverfabrikation) 471.
Rubine, künstliche 258 f.
Rubingläser 249.
Rüdersdorfer Kalksteinbrüche 35; — Pfeilerbau A 35; — Kalköfen A 42.
Rudolstadter Porzellanmarke 111.
Rügen, Kreidelager auf 36.
Rugerus (Glasmalerei) 183.
Rührwerke für Teerfarbenfabrikation A 616 f.
Rundöfen in der Königl. Porzellanmanufaktur zu Berlin m. überschlagender Flamme 157, A 157.
Runge, Chemiker 311, 504.
Rußfabrikation 604.
Ruthenium, Element 314.
Rütteldarre für Superphosphattrocknung 524, A 525.

Sadler (Steingutfabr.) 105.
Saint Cloud, Porzellanmanufaktur in 113 f.; — Porzellanmarke 113, A 112.
Sala, Angelus, Chemiker 300.
Salicornia annua 358, A 359.
Salicylsäure 631; — Formel A 631.
Salmiak 531, 536; — Sublimation des S.s A 537.
Salmiakgeist 416, 534.
Salpeter, Fabrikation des 436; — Krystallisiergefäß A 438; — Waschkasten A 439; — Krystallform des Kalisalpeters A 439; des Natronsalpeters A 440; — Herstellung von Konversionssalpeter A 442.
Salpeterlager in Südamerika 439.
Salpeterplantagen 437.
Salpetersäure, Herstellung der 436, 443; — Apparate zur Darstellung der S. A 444; — Salpetersäurekondensation A 445; nach Guttmann A 445; — in der Dynamitfabrikation 467.
Salsola Soda 358, A 359.
Salt lake 360.
Salviati (Glasfabr.) 176.
Salze, Begriff der chemischen 315.
Salzen des Steinzeugs 100.
Salzglasur der Chamottesteine 134.
Salzsäure 388; — Fabrikation 394; — Tourill-Batterie zum Auffangen der S. nach Rohrmann A 395; — vollständige S.-Kondensationsanlage, System Lunge-Rohrmann 395, A 397.
Salzsole 359; — Ofen zum Versieden der S. A 361.
Sand in der Glasfabrikation 191, 203.
Sandarakharz 561.
Sandbad (Konzentration der Schwefelsäure) 381.
Sandstein 7; — künstlicher 67.
Sandstein-Mauersteine, künstliche 72.
Sandstrahlgebläse 26, 274; — Sandblasmaschine A 274; — Flursenster A 275; — Schablone A 276.
Sanitätsgeschirre 157.
San Roberto, Paolo di (Schießpulverfabr.) 456.
Santen, van, Techniker 48.
Santorinerde 47, 49.
Saphir, künstlicher 258.
Satz (Blutlaugensalzfabrik.) 341; — Auslaugung des Satzes A 342.
Sauerkleesalz 327, 506.
Sauerstoff, Element 314.
Sauerstoffgas, komprimiertes, 640.
Säure, nitrose 376; — salpetrige 442; — schweflige 367; — Begriff der chemischen 314; — s. Alkalien und S. 327.
Saure Steine 132.
Säureballons, Herstellung von 233.
Saussure (Düngmittel) 508.
Scandium, Element 314.
Schaaffsche Ziegeltrockenanlage 125, A 126.
Schablone für Sandstrahlgebläse A 276.
Schablonendruck (Glasindust.) 269.
Schachtofen mit Generatorfeuerung zum Kalkbrennen 42, A 41; — mit Halbgasfeuerung A 42.
Schädeler, Chemiker 429.
Schaffner, Chemiker 411.
Schaffner-Helbigsches Verfahren (Schwefelgewinnung) 411.
Schamotte s. Chamotte.
Scharriereisen für Steinbearbeitung 19, A 18.
Scharrierhammer für Steinbearbeitung 14, 19, A 18.
Schaumgips 62.
Scheele, Chemiker 302, 899, 428, 486, 558.
Scheibe, Töpfer-, 135, A 135.
Schellackanstrich 80.
Schellhammer 12, A 18.
Scherbrett für Schieferbearbeitung 28, A 27.
Scheren (Glasfabr.) 236, A 234.
Scherwolle 538.
Schiefer: Thonschiefer 7; — Dachschiefer 7, 27; — Werkzeuge zur Schieferbearbeitung A 27.
Schieferdeckerbrücke 28, A 27.
Schieferige Gesteine 4.
Schieferstifte 28.
Schieferthon 120.
Schierer, Paul (Glasfabr.) 178.
Schierlingsgift 622; — Schema A 622.
Schießbaumwolle 460, 475; — mikroskopische Ansicht A 461; — Nitrierzentrifuge A 463.
Schießpulver, Geschichte 447; — braunes 476; — Zusammensetzung, Prozentgehalt, Energie 475.
Schießpulverfabrikation 450; — Pulverisierung d. Schwefels 450, A 451; — Holzverkohlung mit direktem Feuer A 451; — Holzverkohlung mit überhitztem

Wasserdampf A 452; — Pulverstampfe A 454; — Mengtrommeln 454; — Pulverpresse A 455; — prismatisches Pulver A 456; — Geschoßdurchmesser der Geschütze u. Handfeuerwaffen 457; — Flugbahnen A 458; — rauchlose Pulver 459, 471; — Schießbaumwolle s. d.; — Nitroglycerin s. d.; — Sprenggelatine 470; — Knetmaschine zum Lösen der Nitrocellulose im Lösungsmittel A 472; — Kunstfeuerwerkerei 476; — Celluloid 477; — Lichterscheinungen bei der Explosion der verschiedenen Sprengstoffe T 476.
Schifferdecker u. Söhne, Portland-Zementwerk in Heidelberg 57.
Schilddrüse, Jodgehalt der, 435.
Schlackengrand 78.
Schlackenpflaster 86.
Schlackensteine 78.
Schlackige Gesteine 4.
Schläge (Steinbearbeit.) 19.
Schlageisen für Steinbearbeitung 18, A 18.
Schlagspitz für Steinbearbeitung 18, A 18.
Schlämmvorrichtung für Glashafenthonverarbeitung 207, A 208.
Schlegel für Steinbearbeitung 18, A 18.
Schleifen der Gesteine 23; — Schleif- u. Poliermaschine für Steinbearbeitung 24, A 25.
Schleifen des Glases 265; geschliffene Prunkgläser 265, A 266; — des Krystallglases A 267; — der Spiegelglasplatten 246.
Schleifsteine, künstliche, für Steinbearbeitung 23.
Schlempe, Gewinnung von Pottasche aus 329.
Schleswig-Holstein, Kreidelager in 86.
Schleudermühlen in der Glasfabrikation 193, A 194 f.
Schlicker 186, 154.
Schlickermoleret 144.
Schlieren im Glase 230.
Schlotten (Höhlen) 61.
Schmelzbirnen f. Blutlaugensalzfabrikation 334, A 338.
Schmelzfarben 164, 285.
Schmelzglas 199.
Schmelzkessel für Fett (Margarinefabr.) A 565 f.
Schmelzmuffeln 166.
Schmelzofen, Gußtisch und Kühlofen in einer Spiegelfabrik A 245.
Schmelzraum einer Blutlaugensalzfabrik 336, A 337.
Schmidt, Alex., Renaissancekrug von A 101.
Schmiersalz (Blutlaugensalzfabrikat.) 344; — Abtropfkästen A 344.
Schmierseife 539, 547.
Schmirgel als Schleifmittel 24
Schnabelkrug aus grauem Raerener Steinzeug mit verteilt aufgelegtem Blau A 148.
Schneidemaschinen für Seifen 550, A 549 f.
Schneiden des Glases 269; — chinesisches Gefäß von weißlichem Glas mit blauem Überfang A 269.
Schnellfeuerkanonen 457.
Schnellpresse für Glasfabrikation A 240.
Schnittbrenner f. Gasbeleuchtung 589.
Schnorr, Joh. (Porzellanfabr.) 108.
Schönbein, Erfinder d. Schießbaumwolle 459, A 460.
Schott (Glasfabr.) 186, 238 f, 255.
Schottermaterial 9.
Schottland, Glasfabrikation in 181.
Schrot für Chausseebau 9.
Schrothammer für Steinbearbeitung 18, A 18.
Schrötter, Chemiker 489.
Schrühbrand 137, 142.
Schulschreibtafeln 28.
Schultzepulver 471.
Schurrsieb f. Steinsortierung 12.
Schüssel aus Steinzeug, die gerissen und eingedrückten Verzierungen blau glasiert A 147.
Schusterpech 505.
Schüttelsieb f. Superphosphat A 524.
Schutz (Fayence) 102.
Schwamm, Feuer- A 481.
Schwankhardt, Chemiker 428.
Schwarten (Porzellanfabr.) 152.
Schwarz, Berthold 447.
Schwarzes Glas 250.
Schwarzlot (Glasmal.) 278.
Schweden, Glasfabrikation in 181.
Schwedische Zündhölzer 491.
Schwefel, Element 314; — Gewinnung des 362; — Destillieren 365, A 366; — horizontaler doppeltwirkender Kompressor für den direkten Dampfbetrieb 368, A 369; — Schwefelkyhalle A 363; — Wiedergewinnung des 410; — Öfen zur Schwefelgewinnung aus Schwefelwasserstoff und schwefliger Säure A 413; — Pulverisierung (Schießpulverfabrik.) 450, A 451.
Schwefelammonium 531.
Schwefeläther 627.
Schwefelblei 363, 601.
Schwefelblumen 366 f.
Schwefelcyankalium 351.
Schwefeldioxyd 367.
Schwefelhölzer 492.
Schwefelkies 354, 363; — Verarbeitung der, auf schwefelige Säure 378, A 379.
Schwefelkohlenstoff, Fabrikation 386; — Apparat zur Darstellung 386, A 387.
Schwefelkupfer 368.
Schwefellager 363.
Schwefelmilch 367.
Schwefelsäure, Fabrikation der 370; — rauchende 372; 383; — Darstellung A 371; — Flasche zur Gewinnung der S. A 373; — Apparat f. fabrikmäßige Erzeugung A 375; — Einschaltung eines Plattenturmes A 378; — Sitzk von der Oberseite einer Platte, i welcher sich 1200 Löcher zu 6 mm Weite befinden A 377; — mit Blei ausgekleideter Plattenturm A 378; — Verarbeitung der Schwefelkiese auf schwefelige Säure A 379; — Desintegrator A 379; — Konzentration der S. A 380; — in Glasgefäßen A 381; — Schwefelsäure-Konzentrationsapparat m. wellenförmigem Boden A 382; — Verwendung der 383; — Exsiccator A 385; — Vakuumexsiccator A 385; — Flasche zum Waschen und Trocknen der Gase A 386; — Apparat zur Schwefelkohlenstoffdarstellung A 387; — englische S. 372 f.
Schwefelsäureanhydrid 378.
Schwefelwasserstoffgas 363 f.
Schwefelzink 363.
Schweflige Säure 367.
Schweineschmalz i. d. Seifenfabrikation 541.
Schweinfurter Grün 503, 602.
Schweiz, Glasmaleret in der 282; — Porzellanmanufaktur 115.
Schwenkgruben (Glasfabr.) A 242.
Schweröl (Teerdestill.) 598.
Schwerspat 196, 363; — als Farbstoff 601.
Schwertlägen für Steinbearbeitung 16.
Schwindung des Thones 121.
Schwotka, Glasperlenmanufaktur in 178.
Securit, Sprengstoff 475.
Sedimentäre Gesteine 4.
Seeleim 82.
Seelilien, Kalkbildung durch 31.
Seesalz 198.
Seetang, Gewinnung von Chemikalien aus 358, 432.
Segar (Thonwarenindustrie) 101, 138, 143, A 117; — Segerkegel 289, A 288; — Segerporzellan 117, 159.
Seidlitzpulver 390.
Seifen, gefüllte 548; — harte 539, 546 f.
Seifenfabrikation 539; — Kessel mit Dampfheizung zum Ausschmelzen von Fett aus Talg 540, A 539; — Kessel mit direktem Feuer zum Ausschmelzen von Fett aus Talg 540, A 539; — Spindelpresse zum Auspressen der beim Schmelzen von Talg verbleibenden Rückstände A 540; — Kollergang zum Auspressen von Oliven A 541; — hydraulische Presse für Ölgewinnung aus Pflanzensamen A 542; — horizontale hydraulische Warmpresse für Erdnußölgewinnung A 543; — Apparat z. Extrahieren von Fetten u. Ölen mittels leichtflüssiger Lösungsmittel 544, A 545; — halbcylindrischer Siedekessel A 546; — Mischkessel mit Rührvorrichtung A 546; — Anwendung des Apparates am Block A 549; — Seifenschneidemaschine A 549; — Seifenkühlkasten mit und ohne Umhüllung 549, A 548; — Krulls Schraubenzwinge 550, A 548; — schmiedeeisernes Reservoir 550, A 548; — Seifenblock-Zerteilapparat 550, A 549; — Stanze zum Seifenpressen 551, A 550; — Seifenschneidemaschine A 550; — Toilettenseifen s. d.
Seifenleim 547.
Seifenschneidemaschine f. Steinbearbeitung 18.
Seladonglasur 160.
Selen, Element 201, 314.
Selenate als Färbemittel 201.
Selencalcium 201.
Selencyankalium 201.
Selenite als Färbemittel 201.
Selenkalium 201.
Selennatrium 201.
Seltsam (Knochenverw.) 514.
Senföl 574.
Senkspindel, -wage s. Aräometer.
Senlis, Jacques (Töpferei) 96
Septarien (Kalknieren) 31, 46.
Serpentin 7.
Serpentinsteinpflaster 86.
Sèvres, Porzellanmanufaktur 113 f., 116; — Vase von Fontenoy A 113; — Porzellanmarken 114, A 112.
Seydel & Sohn (Fayence) 102.
Shanks (Sodafabr.) 393; — — Auslaugenapparat A 393.
Shoddy (Wolle) 584.
Shropshiretporzellan 116.
Siderolith 140.
Siebcylinder für Steinsortierung A 12.
Siebert, G. (Schwefelsäurefabrikation) 382.
Siedekessel, halbcylindrischer (Seifenfabr.) A 546.
Siegburger Krüge 101.
Siemensscher Glashafen A 212; — invertierter Regenerativgasbrenner A 590; — Regenerativ-Gasofen in der Glasfabrikation 220; — Generator A 220; — Wechselklappe A 221; — Glashafenofen A 222; — Wannenofen A 223, 225; — Glasschmelzofen mit freier Flammentfaltung 226; — Doppelwanne A 226.
Siemens & Halske, Verfahren bei Goldgewinnung 350.
Sierich (Sprengstoffe) 476.
Silber, Element 314; — als Glasfärbemittel 201.
Silberberg (Glasfabr.) 251.
Silicium, Element 314.
Silikatsteine 182.
Simonsche Hafenpressen (Glasfabr.) A 213 f.
Simpson, Arzt 629.
Sinterung 53, 121.
Sizilien, Schwefelgewinnung in 364.
Skraup, Chemiker 624.
Skrubber (Leuchtgasfabrikation) 584.
Slawen, Glasmacherkunst der 172; — Töpferei der 90.
Smalte, Farbstoff 603.
Smaragd, künstlicher 258.
Smeaton, John, Ingenieur 47.
Sobrero, Chemiker 466.
Soda, kaustische 409; — Schmelzkessel A 410; — Eisentrommel für d. Transport A 410; — in der Glasfabrikation 197.
Sodafabrikation 358, 388; — Überführung des Kochsalzes in Soda 362; — Ofen zur Umwandlung des Kochsalzes in Glaubersalz A 389; — Muffelofen für die Glaubersalzfabrikation A 390; — alter Sodaofen A 391; — Sulfatschale A 391; — rotierender Cylinderofen A 392; — ältere Auslaugevorrichtung A 393; — neuere methodische Auslaugevorrichtung A 393; — Soda-

krystall A 394; — Nebenindustrien 394.
Soggen (Kochsalzind.) 361.
Solaröl 685.
Solfatare 368.
Solvay (Kochsalzind.) 362.
Solvay-Soda 415.
Solveol, Antiseptikum 681.
Sopraftanti (Glasfabr.) 174.
Spalteisen f. Schieferbearbeitung A 27.
Spaltkeile f. Steinbearbeitung A 15.
Spaltmaschinen für Steinbearbeitung 14.
Spanien, Porzellanfabrikation in 115; — Porzellanmarken 115, A 112.
Speisefette, künstliche 561.
Spezifisches Gewicht des Glases 187.
Spiegel, flandrische 180; — Birgliſcher 183.
Spiegelglasfabrikation 175, 182, 244; — Schmelzofen, Gußtisch und Kühlofen A 245; — Gußverfahren A 246; — Belegen der Spiegelplatten A 247.
Spindelöl 685.
Spindelpresse (Seifenfabr.) A 540.
Spinnmaschine für marmoriertes Glas 258.
Spiritus fumans Libavii 299.
Spitzeisen für Steinbearbeitung 18, A 13.
Spitzer, A. (Glasindustrie) 201.
Spodium (Beinschwarz) 514.
Spöttel, M. (Kunststeinfabrikation) 76.
Sprenggelatine 470, 475.
Sprengmittel f. Schießpulver.
Sprengöl 466.
Sprengpulver 453.
Sprengscheiben (Steinbearbeitung) 21, A 22.
Sprengstoffe, Lichterscheinungen bei der Explosion der verschiedenen T 476.
Sprudelstein 194.
Stahl, Chemiker 301.
Stahl, Stein u. Zunder A 481.
Stahlblau 347.
Stalagmiten 33, 194.
Stalaktiten 33, 194.
Stampfbeton 60.
Stampfwerke für Pulverfabrikation A 454.
Standard Oil Company 688.
Standard white 682.
Standuhr aus Porzellan aus dem 18. Jahrh. A 162.
Stanze zum Seifenpressen 551, A 550.
Staßfurt, Kalisalzlager in 331.
Stearinkerzen 552.
Stearinsäure 552.
Stein, Stahl u. Zunder A 481.
Stein der Weisen 296.
Steinbrecher für Phosphorite 529, A 519.
Steinbrechmaschine A 11.
Steine, basische 182; — feuerfeste 182; — saure 182.
Steine und Erden, die Industrien der 1; — Bearbeitung der Bausteine 3; — Kalk, Zement, Gips 31; — Kunststeine 66; — Thonwarenindustrie 87; — Glasindustrie 169.
Steingußgranitasphalt 86.
Steingut 104, 141; — Base, weiß, grau, manganbraun, marmoriert mit weißen vergoldeten Auflagen A 142; — Brennen der Thonpfeifen A 145; — Renaissancekrug der Wächterbacher Steingutfabrik A 101.
Steinhauer, Schutzhütte für A 14.
Steinhauerwerkzeug 12, A 13.
Steinkalk 89.
Steinkarre 30, A 29.
Steinkeile 15, A 13.
Steinkitte 80.
Steinkohlen, Verwendung in der chemischen Industrie: Leuchtgas 582; — Teerdestillation 594; — Dachpappenfabrikation 600; — Teerfarbstoffe (Anilin) 605, 608.
Steinkohlenteer, Antiseptika aus 681.
Steinkohlenthon 120.
Steinkrug aus dem 16. Jahrh., deutscher 103, A 104.
Steinmörtel 78.
Steinsägen 15 f.
Steinsalz 198, 359.
Steinsalzlager 359.
Steinschlag f. Claussebau 9.
Steinschlaggabel A 10.
Steinschlaghammer A 10.
Steinschneidemaschinen 17.
Steinschönau, Glasindustrie in 178.
Steinwolf, deutscher A 29; — Pariser A 29.
Steinzeug 99, 147; — ordinäres 148; — Gefäße von Copeland & Sons A 102; — Schlüssel, die gerissten und eingedrückten Verzierungen blau glasiert A 147; — Schnabelkrug aus grauem Raererer St. mit verteilt aufgelegtem Blau A 148.
Stengelglas, Herstellung eines 237, A 237.
„Stern", Portland-Zementfabrik von Töpffer, Grawitz & Co. in Stettin 54, A 55, 59.
Stettin, Portland-Zementfabrik „Stern" von Töpffer, Grawitz & Co. 54, A 55, 59.
Stickoxydgas 375.
Stickoxydulgas 627.
Stickstoff, Element 314; — der Luft, Darstellung von Blutlaugensalz mittels 344.
Stickstoffdünger 529; — Pampes Ammoniak-Destillations-Apparat 582, A 583; — Apparat zur Gewinnung von Ammoniak aus Fäkalien 534, A 535.
Stiefel (Glas) 179, A 178.
Stiefelwichse aus Spodium 514.
Stinkasand (Asa foetida) 863, A 864.
Stöchiometrie 806.
Stockhammer f. Steinbearbeitung 19, A 13.
Storax, Harz 578.
Stören (Kochsalzind.) 361.
Storer (Optik) 186.
Straß (Glasind.) 257 f.
Straßenklinker 146.
Strasser, Joseph (Straß) 257.
Streköfen in der Glasfabrikation 228, A 243.
Streichgarne 884.
Streichhölzchen f. Feuerzeuge.
Strohpflaster 86.
Strontian 189, 196; — schwefelsaurer 363.
Strontianit 196.
Strontium, Element 314.
Strychnin 620.
Stubbenkammer, Vorgebirge auf Rügen 86.
Stubbnitz, Vorgebirge auf Rügen 86.
Stuckmarmor 64, 76.
Stuhlarbeit, Holzbank zur (Glasfabr.) 237, A 235.
Sublimat als Antiseptikum 680.
Sublimation des Salmiaks A 587.
Sublimieren des Jods 434, A 435.
Südcarolina, Phosphatlager in 519.
Sulfat 389.
Sulfatschale A 391.
Sulfitlauge 868.
Sulfonal 626.
Superphosphat 515, 517.
Süßwasserkalk 33, 39.
Swansea-Porzellan 116; — Marke 116, A 112.
Syenit 5.
Syenitporphyr 5.
Szosnowice, Schwefelgewinnung in 365.

Tafelglasfabrikation 181, 241; — Glasformen 242, A 241; — Schwenkgruben A 242; — Streckofen A 243; — Aufrollen und Ausplatten des Cylinders A 244.
Talg in der Seifenfabrikation 539.
Talgkernseife 547.
Talgkerzen 551.
Talos, griech. Töpfer 86, 135.
Tanagra, Figuren von 140, A 141.
Tana, Gewinnung von Chemikalien aus 358, 432
Tankwaggons, -schiffe 634.
Tantal, Element 314.
Tauch (Tuffstein) 49.
Tauchbatterie, galvanische A 424.
Tauchelemente 357.
Tebessa, Phosphatmine bei 519.
Teerblase 594.
Teerdestillation 594; — Fabrikanlage 594, A 595, 597; nebst Dachpappenfabrikation A 599; — Kolonnenapparat zur Reinigung des Leichtöls A 598; — Dachpappenfabrikation 600.
Teeren der Dachziegel 129.
Teerfarben 605, 608; — Anilin 608.
Tegernsee, Glasmalerei in 278.
Tellur, Element 314.
Temperatur, kritische, des Gases 639.
Temperierkessel (Margarinefabrikation) 565, A 566.
Temperöfen (Glasfabr.) 215, 228.
Tennant, Chemiker 399.
Tennessee, Phosphatmine in 519.
Terpen 573.
Terpentin 545, 573.
Terpentinöl 499, 545, 573.
Terrakotten 127, 140; — Figuren aus der Manufaktur von Rießner, Stellmacher und Nessel in Turn-Teplitz A 139 f.; — von Luca della Robbia A 91; — Relief „die Industrie" am Rathaus in Berlin von E. March Söhne A 127.
Terralith 140.
Terra sigillata 90.
Terrazzo, Kunststein 73.
Tessié du Motays (Gasbeleuchtung) 591.
Testalin 81.
Tetramethyldiamidotriphenylmethan 619.
Tetrazolkörper 619.
Thaer (Landwirtschaft) 508.
Thallium, Element 314.
Thelen-Pfannen (Ammoniaksodafabr.) 420.
Thénard, Louis Jacques, Chemiker 306, A 306; — Th.'s Blau 286, 608.
Theodorus von Samos, Erfinder der Töpferscheibe 136.
Theophilus (Glasmalerei) 183.
Therikles, griech. Töpfer 88.
Thomasphosphatmehl 526.
Thomasschlacke 527.
Thon 352; — Eigenschaften und Arten 118; — feuerfester 120, 583; — schmelzbarer 120; — Aufbereitung 122; — Einsumpfen 122; — Schlämmen 122; — in der Glasfabrikation 189, 205.
Thonerde, kieselsaure 118; — schwefelsaure 352, 356.
Thonknetmaschine, liegende (Glasfabr.) A 209.
Thonkühlschlange für Bromfabrikation A 430.
Thonlager 206.
Thonpfeifen, kölnische 145; — Brennen der A 145.
Thonsandstein 7.
Thonschiefer 7, 120.
Thonschneider in der Ziegelfabrikation 128; — in der Glasfabrikation f. Thonknetmaschine.
Thonwaren, dichte 146; — porõse 122; — Glasieren der A 90.
Thonwarenindustrie, Geschichtliches 87; — die Rohmaterialien 118; — Einteilung der Fabrikate 121; — Herstellung der Thonwaren 122; — Mauerziegel 122; — feuerfeste Steine und Fabrikate 182; — Töpferwaren (Fayence, Majolika) 134; — Steingut 141; — Mettlacher Platten 146; — Klinker 146; — Steinzeug 147; — Porzellan 149; — Kunsterzeugnisse aus älterer und neuerer Zeit T 160.
Thorium, Element 314, 592.
Thoroxyd 592.
Thran in der Seifenfabrikation 541.
Thyrojodin 485.
Tiegel, hessische 133.
Tierkohle 342.
Tieröl 586; — Dippelsches 833.
Tilghman (Sandstrahlgebläse) 26, 274.
Timm (Thonwarenfabr.) 117, 144.
Tinctura iodi 435
Tinkal (Borax) 197.
Titan, Element 314.
Toilettenseifen 580; — Seifentrockenschrank 581, A 580; — Seifenwalzmaschine (Broyeuse) A 581; — Seifenspanhobelmaschine A 581; — Ballmaschine (Boudineuse) A 582.
Toluidin 615.
Toluol, Schema A 617.
Tonit, Explosivstoff 476.
Topas, künstlicher 258.
Töpferwaren (Fayence und Majolika) 134; — Arbeiten auf der Töpferscheibe A 135; — das Formen A 137; — altägyptische Töpfer an der Scheibe arbeitend A 88; — Kühlbecken von Delfter Fayence mit fünffarbiger

Scharffeuerbemalung A 138; — Terrakottafiguren aus der Manufaktur Rießner, Stellmacher und Nessel in Turn-Teplitz A 139 f.; — Tanagrafiguren 140, A 141.
Töpferthon 120.
Töpffer, Grawitz & Co., Portland-Zementfabrik „Stern" in Stettin 54, A 55, 59.
Torpedos, Schießbaumwolle in 462.
Totes Meer 360.
Tourill-Batterie zum Auffangen der Salzsäure nach Rohrmann A 395.
Tournay, Porzellanmarke von 116, A 112.
Trachyt, porphyrischer 6.
Transmutation (Alchemie) 483.
Transparentglas 184.
Transportvorrichtungen für Bausteine 28, A 29 f.
Transportwagen für Margarine A 568; — f. Schmelzen (Blutlaugensalzfabr.) A 336.
Traß (Mörtelbereitung) 47 f.; — wilder 49.
Trautenwelf, Egid (Glasmal.) 280.
Travertin (Kalktuff) 33.
Trenton-Kalk 33.
Trevany (Feuerzeuge) 491.
Trichterofen zum Kalkbrennen A 40.
Trichter-Überfang (Glasfabr.) 254.
Trilobiten-Kalk 33.
Trinkgläser, Herstellung der 237; — die verschiedenen Phasen eines Trinkglases A 236.
Triphenylmethan 617; — Schema A 617.
Trockenätzen des Glases 273.
Trockenöfen in der Glasfabr. 228.
Trockenschrank (Glasmal.) 289; — für Toilettenseifen 581, A 580.
Trona, ägypt. Soda 358.
Tropfstein 33, 194.
Trostwigh, Paets van 423.
Trümmergesteine 4.
Tschirnhausen, Graf von (Porzellanfabr.) 107 f.
Tuffstein 48; — künstlicher 77.
Tummler (Glas) 179.
Turiner Lichtchen 490.
Türkis, künstlicher 259.
Türkisglas 252.
Turmalin, künstlicher 259.

Überdruck (Thonwaren) 144.
Überfanggläser 201, 253.
Uhrgläser, Herstellung 257.
Ultramarinblau, Farbstoff 602.
Ultramaringrün 603.
Umkrystallisieren (Chemie) 822.
Unona odoratissima 577.
Unverdorben, Chemiker 310
Uralitporphyr 6.
Uran, Element 314; — als Glasfärbemittel 201.
Urangelb 287.
Uranoxyd 201.
Urbino, Majolikafabrikation 93.
Urne aus ciselliertem Krystallglas, weißer Grund mit violettem Übergang A 181.
Utzschneider (Fayence) 102.

Vakuumexsiccator A 385.
Valentinus, Basilius, Chemiker 297 f., 353; — über Schwefelsäurefabrikation 371.
Valylen, Kohlenwasserstoff 606.
Vanadin, Element 314.
Vanillin 574.
Barek 198, 358.
Vaselin 637.
Vasen: des Argestlaos A 89; — Fayencevasen v. Geoffroy in Gien A 97; — von Fontenoy aus der Porzellanmanufaktur von Sèvres A 113; — aus der Meißener Porzellanfabrik A 114; — aus der Königl. Porzellanmanufaktur zu Meißen A 115; — Portland-Vase 171, A 173; — von Steingut A 142.
Vauquelin, Chemiker 305.
Veilchenaroma, Anordnung der Atome im natürlichen, künstlichen A 576.
Velten, Töpferei in 139.
Veltener Kachein 188.
Venango County, Erdöldistrikt 632.
Venedig, Glasmacherkunst in 173 f.; — Kanne aus Fadenglas A 175; — Gläser nach alten Mustern, von Salviati A 177; — Nachahmung venezianischer Gläser A 180; — Porzellanmarke 115, A 112.
Veraschung von Pflanzenteilen 508, A 508.
Verblender (Ziegelfabr.) 127.
Verbundglas 234
Vergrühbrand (Töpferei) 137.
Vergrühofen (Porzellanfabr.) 156.
Vergolden in der Glasmalerei 288; — des Porzellans 168.
Verguin, Chemiker 615.
Verkohlung des Holzes 495; — Metler A 496; — Verkohlungscylinder, Verkohlungsofen A 497; — Kühler 497, A 497 f.; — Verkohlungsretorte A 498.
Verplatinierung (Glasmal.) 288.
Verseifung der Fette 539; — mit Kalk 562; — mit Schwefelsäure 558.
Vicarische Nadel 53.
Vieneuf, Porzellanmarke von 115, A 112.
Vierfachchlorzinn 299.
Villeroy & Boch (Thonwarenind.) 101.
Violette, Erfinder der Bandsäge 17.
Violettes Fensterglas 248.
Virgilischer Spiegel 188.
Vista, Porzellanmarke von 115, A 112.
Vitriolöl 370, 372.
Vitriolschmand 355.
Vollziegel 128.
Vorlauf (Teerdestill.) 598.
Vormauerungssteine 127.
Vrilsprengpulver 476.
Vulkanglas 173.
Vulkanisieren des Kautschuks 387.
Vulpinit 7.

Wachskerzen 551.
Wachsstöcke 551.
Wächter (Glasm.) 285, 289.
Wächterbacher Steingutfabrik, Renaissancekrug der A 101.
Wagenschmierfette 573.
Walzenglas 244.
Walzmaschine in der Margarinefabrikation A 568; — für Toilettenseifen A 581.
Wander, Georg (Glasfabr.) 178.
Wannen, feuerfeste, in der Glasindustrie s. Glashäfen.
Wannenofen, Siemenscher 224, A 228, 225.
Ward (Schwefelsäurefabrik.) 374.
Wärmeleitungsvermögen des Glases 186.
Warren, Arzt 627 f.
Wassergas 592.
Wasserglas 262.
Wasserglasanstrich 80.
Wasserkalk 39.
Wasserleitungsröhren aus Chamottesteinen 134.
Wassermörtel 47.
Wasserstoff, Element 314; — Lagerung der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome im Benzol A 317.
Wasserstoffgas, komprimiertes 640.
Weber (Glasfabrik.) 190.
Wechselklappe am Siemensschen Gasofen A 221.
Wedgwood, Josuah (Thonwarenindustrie) 104, A 105; — Porzellanmarke 116; — Wedgwood-Fabrikate 147.
Weckies 76.
Weichpech (Teerdestillation) 597.
Weichporzellan 117, 159; — Theetopf aus französischem W. A 159.
Weihrauch 578.
Weilsdorfer Porzellanmarke 111.
Weinstein 327.
Weißfeuer 477.
Weißgerberei, Verwendung des Alauns in der 356.
Weißglas 203.
Weißhohlglas 235.
Weißkalk 39.
Weldon, Chemiker 407.
Welligwerden des Glases 230.
Wells, Horace, Zahnarzt 627, 629.
Werinher (Glasmalerei) 278.
Westfalit, Sprengstoff 476.
Wetteren, Pulverfabrik zu, 452, 454.
Wiederhold, Chemiker 492.
Wiener Pflaster 12.
Wiener Porzellanmarke A 111.
Wiesenkalk 33, 39.
Williamson, Chemiker 627.
Willkommen (Glas) 178.
Wilson, Chemiker 559.
Winden im Glase 230.
Winkler (Schwefelsäurefabr.) 372.
Wismut, Element 314.
Wismutlüster 163.
Witherit 196.
Wöhler, Chemiker 308, 352.
Wolfram, Element 314.
Wolfram-Metall 459.
Wollschweiß der Schafe, Gewinnung von Pottasche aus dem 350
Wood, Arzt 625.
Worcester, Porzellanmanufaktur 116; — Marke 116, A 112.
Woulffsche Flaschen 480.
Wrede s. Henning & Wrede.

Xanto von Urbino, Marke des A 92.

Young, Erfinder der Diamantsäge 15.
Ytterbium, Element 314.
Yttrium, Element 314.

Zahnhammer für Steinbearbeitung 19, A 13.
Zangen und Scheren in der Glasfabrikation 236, A 234; — federnde Zange A 232.
Zechsteinkalk 33.
Zement 48, 327; — natürliche Zemente 47 f.; — Portland-Z. 49; — Portland-Zementfabrik „Stern" in Finkenwalde 54, A 55; — Lagerplatz für Zementröhren d. Portland-Zementfabrik „Stern" in Stettin A 59; — Columbusstatue der Alienschen Portland-Zementfabriken auf der Weltausstellung zu Chicago A 60.
Zement-Betonpflaster 84.
Zement-Kalk 47.
Zement-Kunststein 67.
Zement-Macadam 85.
Zentrifugalmaschinen in der Porzellanfabrikation 154.
Zentrifuge für Blutlaugensalzfabrikation A 341.
Ziegel s. Mauerziegel.
Ziegelbrennen 129.
Ziegelmergel 120.
Ziegelpflaster 83.
Ziegelpressen 123.
Ziergläser 258.
Zimtaldehyd 574.
Zimtöl 574.
Zinin, Chemiker 310, 609.
Zink, Element 314.
Zinkblende 197.
Zinkfluat 80.
Zinklüster 163.
Zinkoxyd in der Glasfabrikation 190, 197.
Zinkweiß 197, 601.
Zinn, Element 314; — als Glasfärbemittel 201.
Zinnglasuren (Töpferei) 92.
Zinnober, Farbstoff 602.
Zirkon 259; — in der Gasbeleuchtung 591.
Zirkonium, Element 314.
Zitronenöl 574.
Zuckersäure 506.
Zugmuffeln (Porzellanfabr.) 166, A 166.
Zunder, Stahl und Stein A 481.
Zündhölzchen s. Feuerzeuge.
Zündhütchen 466.
Zürich, Porzellanmarke von 115, A 112.
Zweispitze f. Steinbearbeitung 18, A 13.

Spamers
Grosser Hand-Atlas.

150 Kartenseiten nebst alphabetischem Namenverzeichnis.

Hierzu **150 Folio-Seiten Text,**

enthaltend eine **geographische, ethnographische** und **statistische Beschreibung aller Teile der Erde**

von Dr. **Alfred Hettner,** a. o. Prof. an der Universität Tübingen.

Mit ca. 600 topographischen, physikalischen, ethnographischen, historischen und statistischen Karten und Diagrammen.

Zu beziehen:

In Halbfr. geb. Preis **20** M., oder in **32** Lieferungen zu je **50** Pf.

Gesamtpreis **16** M.

Mit diesem Hand-Atlas ist zu wirklich billigem Preise ein Kartenwerk geschaffen, das nicht nur gelegentlich als Nachschlagewerk dienen, sondern zugleich ein **Bildungsmittel von dauerndem Werte** sein soll, das man **jederzeit** mit Interesse zur Hand nehmen kann. Die sonst nirgends gebotene Vereinigung der Karten eines großen Hand-Atlas mit einem von einem ausgezeichneten Fachmanne bearbeiteten **Abriß der Geographie** und mit **Hunderten** von **kleineren Detail- und Übersichtskarten** ist in ganz besonderem Maße geeignet, anregend und instruktiv zu wirken, und dürfte für viele, ja die meisten, den Besitz eines derartigen Werkes erst wirklich fruchtbringend gestalten.

Leixners
Deutsche Litteraturgeschichte

Vierte, sowohl textlich als bildlich vermehrte und verbesserte Auflage

Ein stattlicher Band von 135 Druckbogen groß 8° mit 1180 Seiten, 55 zum Teil farbigen Beilagen und 423 Abbildungen im Texte.

Preis: Geheftet **16** M. In Pracht-Einband **20** M.

Ausgabe in zwei Bänden geheftet je **8** M., gebunden je **10** M.

Leixner, selbst ein feinsinniger Dichter und zugleich ein trefflicher Kunsthistoriker, behandelt mit Frische und lebendiger Anschaulichkeit die gesamte deutsche Litteratur von den ersten Anfängen bis auf unsere Tage, und zwar durchaus im Zusammenhange mit dem nationalen Leben, mit dem Volkscharakter und der Volksgeschichte. Von der Überzeugung durchdrungen, daß die höchsten Schöpfungen der deutschen Litteratur den Einklang von Schönheit der Form und höchster, edelster Sittlichkeit zeigen, richtet Leixner seinen kritischen Sinn auf Ausscheidung des Idealen, Bleibenden, Tiefen von dem bloß äußerlich Glänzenden, und deshalb ist diese Litteraturgeschichte vor allen anderen geeignet, in die Kenntnis der deutschen Litteratur einzuführen, während anderseits auch der Kenner durch das durchaus selbständige und überall auf eigener Kenntnis der Quellen beruhende Urteil Leixners vielfach Anregung finden wird.

Mit dem Verfasser Hand in Hand gehend, hat die Verlagsbuchhandlung der Ausstattung des Werkes unausgesetzte Sorgfalt gewidmet und keine Kosten gescheut, um durch die vollständig erneuerte, mit allen Hilfsmitteln der modernen Kunsttechnik hergestellte, möglichst vielseitige Illustrierung und zeitgemäße typographische Ausstattung der Leixnerschen Litteraturgeschichte den ersten Platz zu sichern. Der Bilderreichtum wird hinsichtlich der Auswahl wie der Güte der einzelnen Vorlagen von keinem andern ähnlichen Werke erreicht. Die Leixnersche Litteraturgeschichte ist sonach eine Zierde für jede Bibliothek, ein Prachtwerk, gleich ausgezeichnet durch den wertvollen Inhalt wie durch die prächtige Form.

Illustrierte Geschichte der fremden Litteraturen

Von

Otto von Leixner.

Zweite, neugestaltete und vermehrte Auflage.

Mit **375** Text-Abbildungen und **20** teilweise mehrfarbigen Beilagen.

Ausgabe in zwei Bänden	Ausgabe in einem Bande
Geheftet je 8 M. Gebunden je **10** M.	Geheftet **16** M. Gebunden **20** M.

Umfassende Gründlichkeit, feines sicheres Urteil und glänzende Darstellung zeichnen auch dieses im Anschluß an die „Deutsche Litteraturgeschichte" erscheinende und mit dieser die

„Illustrierte Geschichte der Litteraturen aller Völker"

bildende Werk aus. Dasselbe gibt einen Überblick über die wichtigsten Dichtwerke aller Völker, welche von bleibendem Wert in dem Schatz der Weltlitteratur sind.

Verlag von Otto Spamer in Leipzig.

= Dritte = **Spamers** völlig neugestaltete Auflage.

Illustrierte Weltgeschichte

Mit besonderer Berücksichtigung der Kulturgeschichte

unter Mitwirkung von

Prof. Dr. **G. Diesel**, Prof. Dr. **Ferd. Vorsiger**, Prof. Dr. **G. G. Schmidt** und Dr. **F. Sturmhofel**

neubearbeitet und bis zur Gegenwart fortgeführt von

Prof. Dr. Otto Kaemmel.

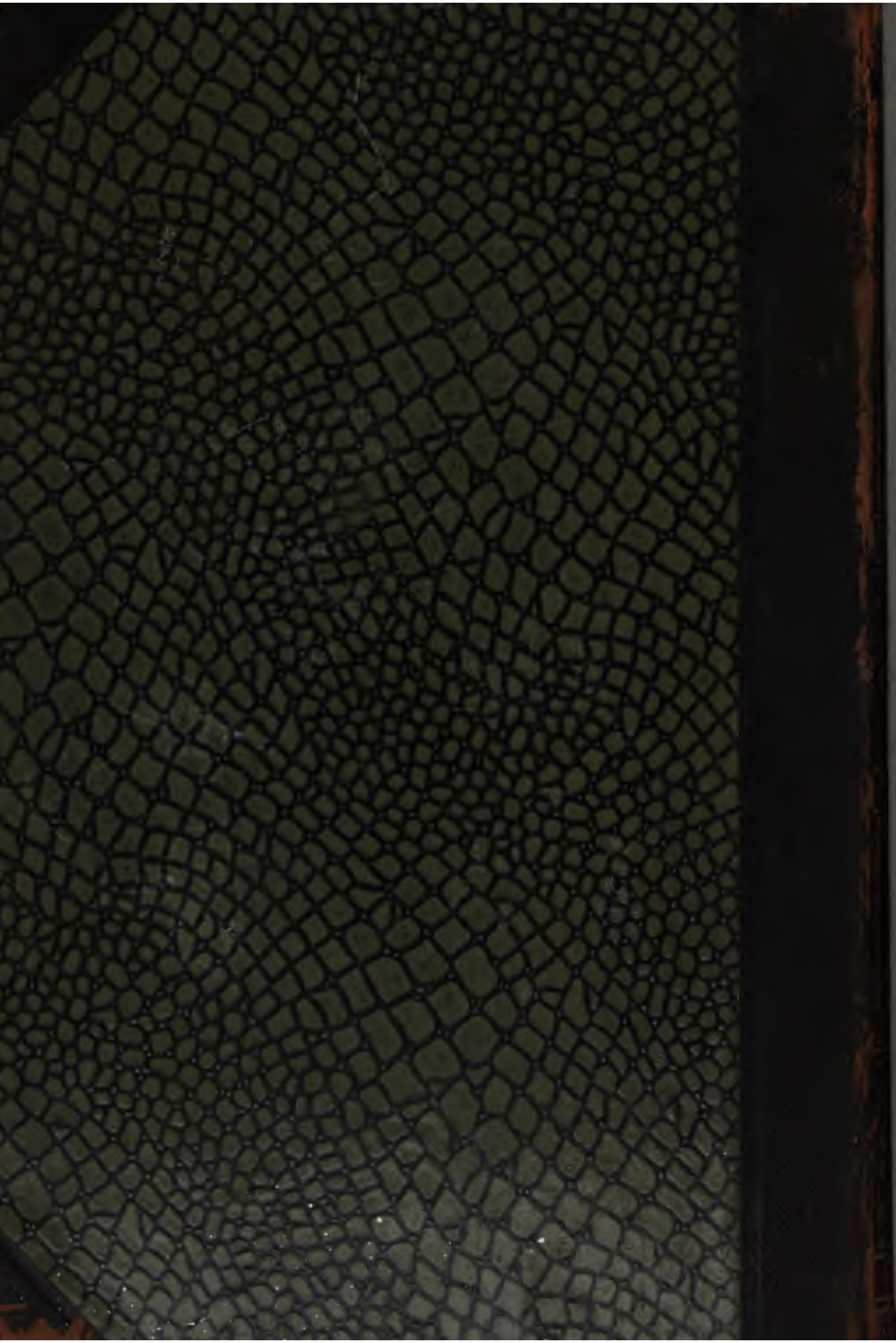
10 Bände. Geheftet je 8 M. 50 Pf. In Halbfranzband gebunden je 10 M. und Register 6 M. gebunden.

Eine Weltgeschichte sollte in jedem Hause und in jeder Familienbibliothek zu finden sein. Denn es gibt keine Lektüre, die eine so unerschöpfliche Fundgrube der Belehrung für alt und jung, eine nie versiegende Quelle geistiger Anregung böte, keine, die kräftiger zu einem gesunden Urteile heranbildete und aus dem Vergleich der Vergangenheit den Blick für die Strömungen und Forderungen der Gegenwart schärfte, wie eine Gesamtdarstellung des Ringens und Vollbringens der Völker aller Zeiten.

Octavio Piccolomini

General Octavio Piccolomini.
Nach einem Gemälde von Franz Leux im Nationalmuseum zu Stockholm.

Spamers illustr. Weltgeschichte will die Mitte halten zwischen den kurzen Handbüchern, die ihren Stoff so zusammendrängen müssen, daß sie kein wirkliches deutliches Bild mehr geben können, und den bändereichen Werken, die kaum noch eine Einheit bilden, und die niemand mehr im Zusammenhange lesen kann. Sie vereint wissenschaftliche Gründlichkeit mit wahrhaft populärer, d. h. allgemeinverständlicher und anregender Darstellung. Das Volksleben selbst ist stets als ein untrennbares Ganze aufgefaßt und daher neben der politischen auch die Kulturgeschichte in ausgiebigster Weise berücksichtigt.

Zu diesen Vorzügen des textlichen Inhaltes gesellt sich nun eine **Illustration**, die an äußerer Pracht und innerem Wert ihresgleichen sucht. Nicht weniger als **4000** Nummern zählen die Text-Illustrationen, durchaus sachgemäße, nach auserlesenen Vorlagen unter Anwendung aller Hilfsmittel moderner Kunsttechnik ausgeführte Abbildungen, als: lebenswahre Porträts nach den besten gleichzeitigen Aufnahmen, Gemälden oder Stichen, genaue Nachbildungen wichtiger und interessanter Handschriften und Dokumente, historisch getreue Darstellungen denkwürdiger Ereignisse der Geschichte nach Gemälden hervorragender Meister aller Zeiten und Länder, gute Reproduktionen bedeutsamer Kulturdenkmale, geschichtlich wichtiger Bauwerke, von Orten und Stätten, Altertümern, ferner Karten, Pläne, Tabellen und vieles andere; dazu kommen noch über **300**, zum Teil in Farbendruck ausgeführte Beilagen und Karten oft größten Formates, so daß die Gesamtausstattung mit Fug und Recht als eine mustergültige und glänzende bezeichnet werden darf.

Spamers illustr. Weltgeschichte ist eine der großartigsten deutschen Publikationen in neuerer Zeit, ein Werk **von eminentem Werte als Bildungsmittel**, das eine ganze Bibliothek ersetzt und eine seltene Menge wertvollen und interessanten, vielfach noch ganz unbekannten Anschauungsmaterials bietet; sie ist zugleich ein Prachtwerk, das jeder Bücherei zur größten Zierde gereicht. Der Preis von **10** Mark für den vornehm gebundenen Band ist in Anbetracht der Schönheit des Werkes staunenswert billig, und die Lieferungs-Ausgaben ermöglichen auch dem weniger Bemittelten die Anschaffung.